

REPORT

MONITORING “BROERSBANK”

Project	Vlaamse Baaie – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214339
Titel	Monitoring Broersbank – Dissipatieprocessen bij verschillende ophogingsscenarios van zandbanken.
Document nr.	Broersbank_214339_N01
Auteur	Hana Ortega – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	25/04/2016 (DRAFT) 24/08/2016 (Nederlandstalige versie) 30/08/2016 (Finaal)

Inhoud

LIJST VAN FIGUREN	2
LIJST VAN TABELLEN	3
1. INLEIDING	4
2. SCENARIO'S OPHOGING ZANDBANKEN	5
3. MODELSETTINGS EN GESELECTEERDE STORM	8
4. RESULTATEN	9
4.1. Golfhoogtes op de boeilocaties	9
4.2. Energieflux en dissipatiemechanismes op de transects over de zandbanken	12
5. DISCUSSIE	15
6. CONCLUSIES	24
7. REFERENTIES	24
ANNEX 1: SCHATTING BENODIGDE ZANDVOLUMES VOOR DE 2 VERHOOGINGSSCENARIO'S	25
ANNEX 2: SWAN PARAMETERS OVER TRANSECTS AB AND CD.....	29
ANNEX 3: RATIO'S ENERGIEFLUX EN HMO OVER TRANSECTS AB EN CD	38
REFERENCE TO THIS REPORT:.....	46

Lijst van figuren

Figuur 1.	Locatie van de 5 uitgelegde boeien (rode cirkels), van de Westhinder boei en de Trapegeer boei (grijze driehoeken) en van de Smalbank en Broersbank.	4
Figuur 2.	De verschillende stappen voor het verhogen van de Broersbank (dit scenario wordt aangeduid als case CM50-R-BB.) in het panel linksboven worden de -8m contourlijnen in het rood aangeduid. Voor de duidelijkheid wordt -8m contourlijn op de Broersbank in het blauw aangeduid). Het paneel boven rechts toont de bathymetrie van het uitgekozen gebied na ophoging.. Het paneel beneden links toont de uiteindelijke bathymetrie na samenvoeging. Het paneel rechts beneden toont het verschil in diepte voor en na ophoging van de Broersbank.	6
Figuur 3.	De verschillende stappen voor het verhogen van de Smalbank (dit scenario wordt aangeduid als case CM50-R-SB). In het panel linksboven worden de -14m contourlijnen in het blauw aangeduid. Het paneel boven rechts toont de bathymetrie van het uitgekozen gebied na ophoging.. Het paneel beneden links toont de uiteindelijke bathymetrie na samenvoeging. Het paneel rechts beneden toont het verschil in diepte voor en na ophoging van de Smalbank.....	7

Figuur 4.	Diepteprofiel over transect C-D voor (lichte grijze lijn) en na (zwarte lijn) ophoging van de Broersbank (linerpaneel) en Smalbank (rechterpaneel).	8
Figuur 5.	Overzicht van het studiegebied met aanduiding van de opgehoogde Smalbank en Broersbank, en van de meetlocaties waar een verandering wordt verwacht in de golfcondities bij uitvoering van de scenario's. De transects A-B en C-D zijn eveneens aangeduid.	10
Figuur 6.	Gesimuleerde significante golfhoogte H_m0 uit de SWAN berekening voor de 3 cases (referentie + de 2 ophoogscenario's) samen met de gemeten H_m0 voor de locaties WHI, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB3GB, BRB2DB, BRB1GB and TRG en waterstanden voor locatie Nieuwpoort.	11
Figuur 7.	Aanduiding van de transecten AB en CD over de zandbanken. Specifieke uitvoerpunten op de Smalbank en de Broersbank bevinden zich in de blauwe rechthoeken.	12
Figuur 8.	Voorbeeld plot van SWAN output voor de 3 scenario's (referentiescenario CM50; scenario CM50-R_BB verhoging Broersbank; en scenario CM50-R_SB verhoging Smalbank) voor punt AB31. Van boven naar onder: H_m0 , energieflex, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, diepte geïnduceerde breking en dissipatie door schuimkopjes.	14
Figuur 9.	Detail of bottom friction and depth induced breaking at point AB-31 (left) and AB-32 (right). Ref Case: CM50, Case CM50-R_BB and Case CM50-R_SB. Notice the different scale in depth induce breaking.	16
Figuur 10.	Ratio van de energieflex ([scenario CM50-R_BB / referentiescenario: CM50] en [scenario CM50-R_SB / referentiescenario CM50]) op de Smalbank locaties AB30 tot AB35.	18
Figuur 11.	Detail van de dissipatie door bodemwrijving en dieptebreking op locaties AB-38 (links) en AB-41 (rechts). Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R_BB) en verhoging Smalbank (CM50-R_SB).	21
Figuur 12.	Ratio's van de energieflex ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB / Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties (AB37 tot AB41).	22
Figuur 13.	Ratio's van de energieflex ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB / Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties (CD37 tot CD41).	23

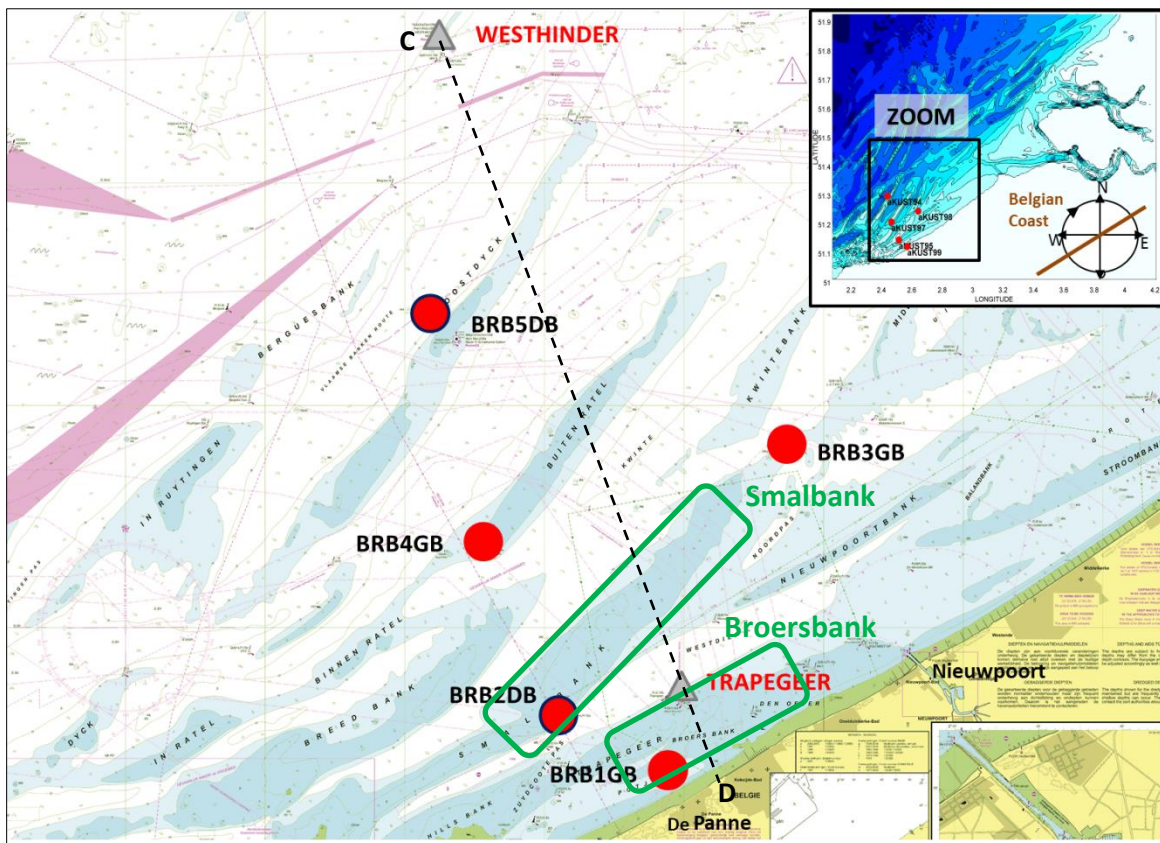
Lijst van tabellen

Tabel 1.	Beschrijving van de twee scenario's en schatting van de benodigde volumes.	7
Tabel 2.	Simulaties uitgevoerd in SWAN.	8
Tabel 3.	Coördinaten in UTM31 voor begin- en eindpunt voor de transecten AB en CD.	12
Tabel 4.	Selectie van SWAN outputvariabelen langs de transects AB en CD.	13

1. Inleiding

De projecten 212176 and 214339 “Vlaamse Baaien – Monitoring Broersbank” werden opgesteld om beter de dissipatieprocessen van golven die zich voortplanten naar de Belgische kust te begrijpen en te karakteriseren. In het bijzonder wordt er veel aandacht besteed aan de invloed van de ondiepe zandbanken in dit proces. Om dit alles te kunnen doen werden zowel golfmetingen (5 extra boeien werden ingezet, zie Figuur 1) als modellering van de golfvoortplanting uitgevoerd.

Als onderdeel van de modellering en met doel een beter inzicht te krijgen in de dissipatieprocessen, werden ook een aantal hypothetische scenario's bekeken waarbij aan de configuratie van de zandbanken veranderingen waren aangebracht. In dit document wordt naast de referentie (huidige toestand), twee scenario's meegenomen waarbij twee van de meest ondiepe zandbanken (Smalbank en Broersbank) verhoogd worden. Er werd specifiek gekeken naar de resultaten van verschillende uitvoerpunten langs twee profielen (profiel details in Figuur 7). Door de dissipatieprocessen overzichtelijk te presenteren, kan men niet alleen inzicht krijgen in de dissipatieprocessen in de huidige toestand, maar kan men ook uitspraken doen over hoe die processen zullen veranderen indien men veranderingen zou aanbrengen aan de morfologie van de huidige zandbanken.



Figuur 1. Locatie van de 5 uitgelegde boeien (rode cirkels), van de Westhinder boei en de Trapegeer boei (grijze driehoeken) en van de Smalbank en Broersbank.

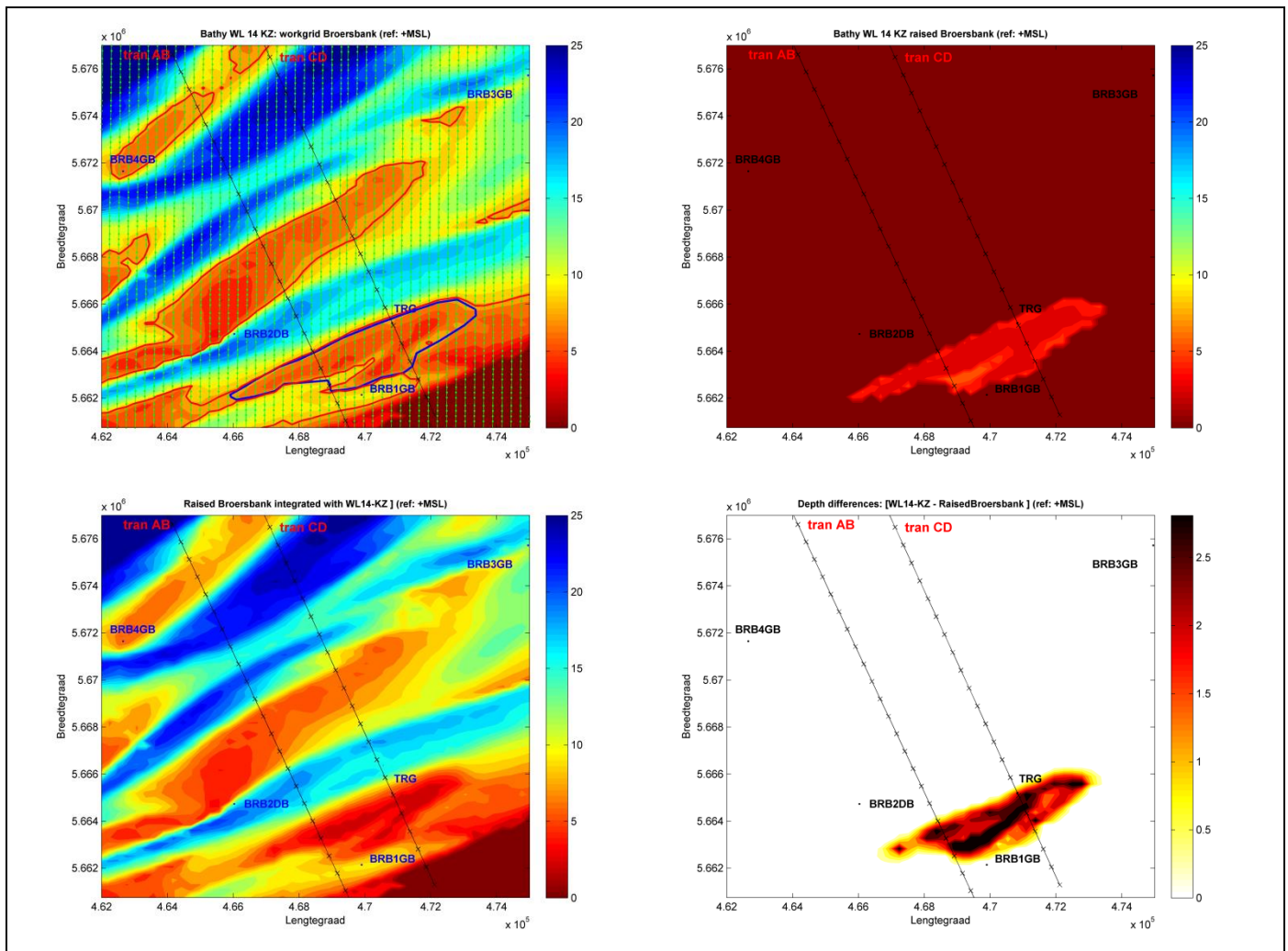
2. SCENARIO'S OPHOGING ZANDBANKEN

Twee verschillende scenario's voor ophoging van de zandbanken worden voorgesteld. Er werd gekozen om sowieso de maximum hoogte van de zandbanken te beperken tot 0m (LAT) (~3.1m beneden gemiddelde zeeniveau verder aangeduid als MSL) zodat de zandbanken net niet boven water komen bij laagtij. Het hoogste punt van de zandbanken ligt op een diepte van ongeveer 3.5m (MSL). Uiteindelijk werd besloten om het gebied dat wordt opgehoogd homogeen met 3m te verhogen. Bij het eerste scenario wordt de Broersbank met 3m verhoogd (maar zonder boven LAT = -3.09m MSL te komen). In het tweede scenario wordt hetzelfde gedaan met de Smalbank.

Als referentie wordt case CM50 (de op Westhinder gemeten boeidata worden opgelegd aan de rand, zie details in 212176-R06-20150515, REFERENTIES). Voor de twee scenario's worden de modelsettings behouden, enkel de bathymetrie wordt aangepast zoals hierboven beschreven (zie Tabel 2 in de volgende sectie).

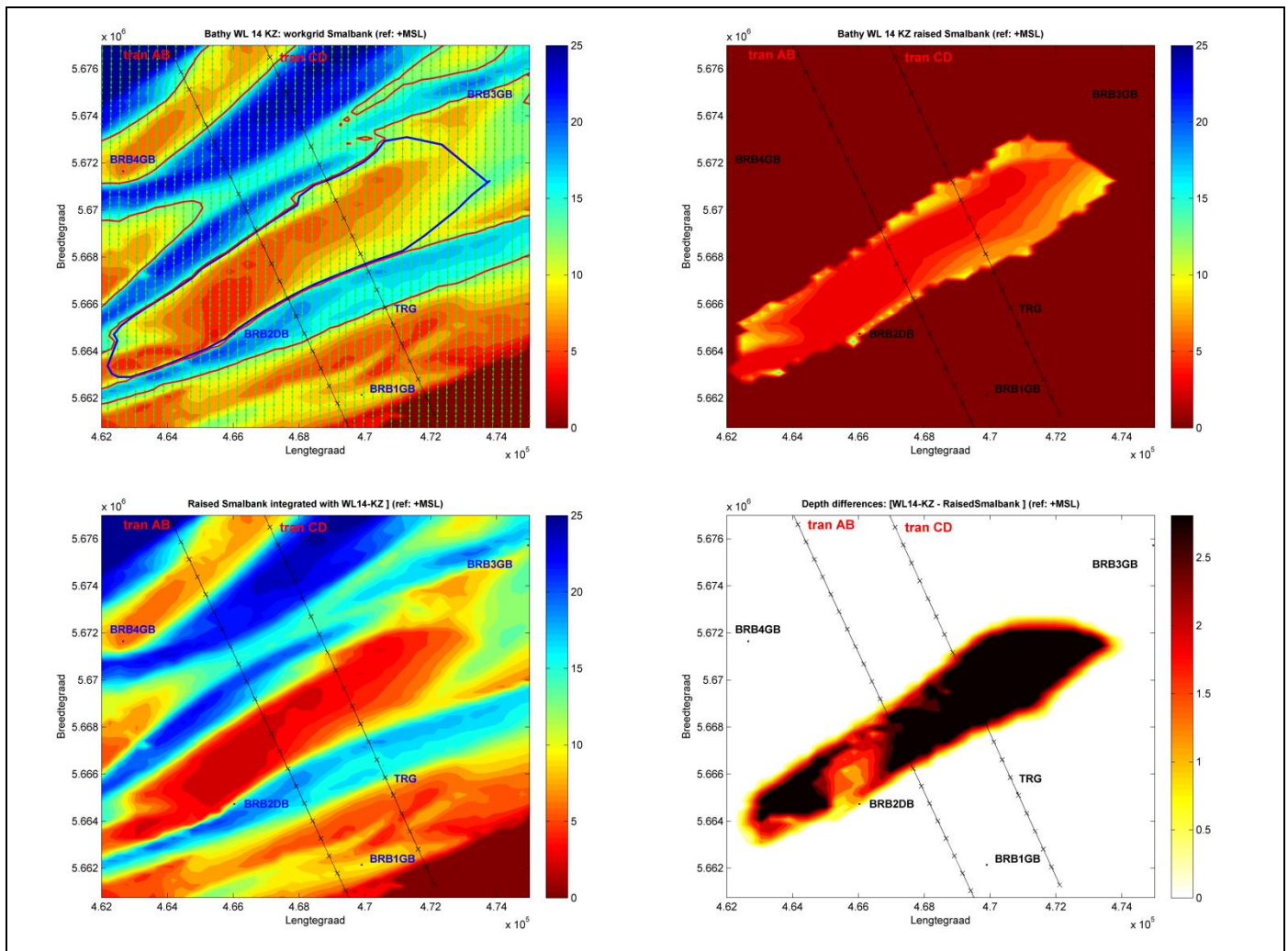
De veranderingen aan de bathymetrie worden samengevat in de figuren hieronder (Figuur 2 and Figuur 3). Kort samengevat komt het neer op de volgende drie stappen:

- Identificeer het uit te kiezen gebied op de zandbank (blauwe lijn in het panelen links boven van Figuur 2 en Figuur 3).
- Leg de condities op voor de verhoging van de bodem voor het uitgekozen gebied (panelen rechtsboven van Figuur 2 en Figuur 3). In dit geval van verhoging van de zandbanken werden volgende voorwaarden toegepast:
 - Voor de Broersbank worden vanaf de dieptecontour van -8m (MSL) de punten met 3m opgehoogd met weliswaar een maximum hoogte van 0m LAT (-3.09m MSL).
 - Voor de Smalbank worden vanaf de dieptecontour van -14m (MSL) de punten met 3m opgehoogd met weliswaar een maximum hoogte van 0m LAT (-3.09m MSL).
- Integreer deze verhogingen met de referentie WL14-KZ bathymetrie (panelen links onder in Figuur 2 en Figuur 3). Dezelfde samenvoegingsmethodologie werd vroeger reeds gebruikt (details in Annex 6 van 212176-R06-20150515, REFERENTIES).



Figuur 2. De verschillende stappen voor het verhogen van de Broersbank (dit scenario wordt aangeduid als case CM50-R-

BB.) in het panel linksboven worden de -8m contourlijnen in het rood aangeduid. Voor de duidelijkheid wordt -8m contourlijn op de Broersbank in het blauw aangeduid). Het paneel boven rechts toont de bathymetrie van het uitgekozen gebied na ophoging.. Het paneel beneden links toont de uiteindelijke bathymetrie na samenvoeging. Het paneel rechts beneden toont het verschil in diepte voor en na ophoging van de Broersbank.



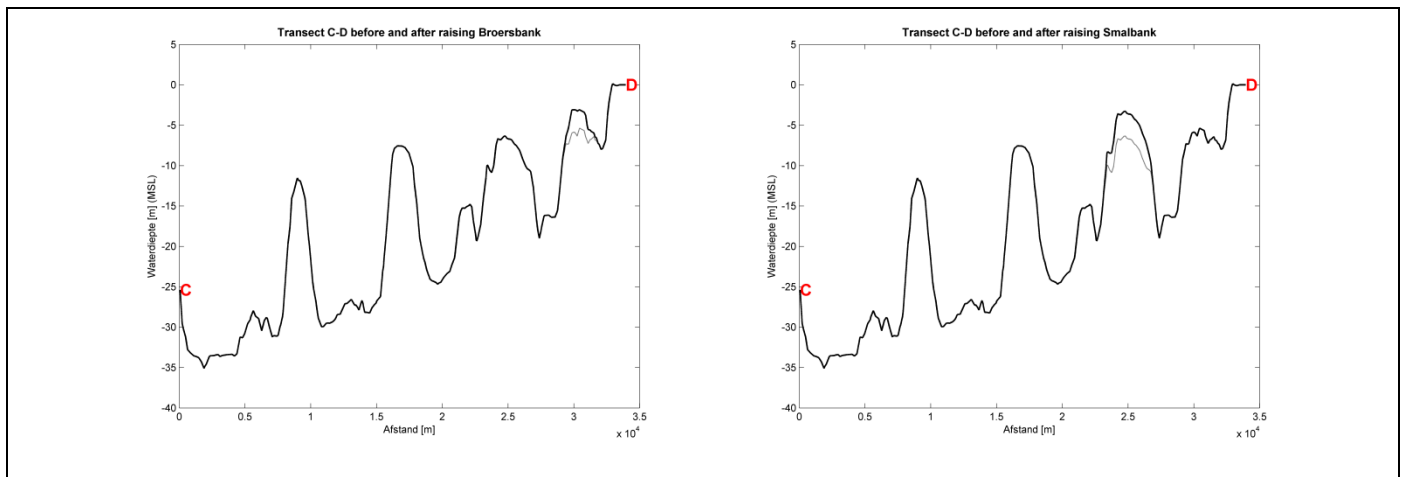
Figuur 3. De verschillende stappen voor het verhogen van de Smalbank (dit scenario wordt aangeduid als case CM50-R-SB). In het panel linksboven worden de -14m contourlijnen in het blauw aangeduid. Het paneel boven rechts toont de bathymetrie van het uitgekozen gebied na ophoging.. Het paneel beneden links toont de uiteindelijke bathymetrie na samenvoeging. Het paneel rechts beneden toont het verschil in diepte voor en na ophoging van de Smalbank.

Om toch enig idee te hebben over de volumes die nodig zijn om de deze verhoging te realiseren, werden het verschil in volume tussen de nieuwe en de originele bathymetrie berekend, zie Tabel 1 (meer details over de berekening kunnen gevonden worden in ANNEX 1).

Scenario	Beschrijving	Geschat volume (in miljoen m ³)
CM50-R_BB	Verhoging Broersbank met 3m (niveau max = LAT)	21,4
CM50-R_SB	Verhoging Smalbank met 3m (niveau max =LAT)	91.8

Tabel 1. Beschrijving van de twee scenario's en schatting van de benodigde volumes.

Tot slot worden in Figuur 4 het profiel over transect C-D getoond voor de twee bathymetrieën (R-BB: Raising BroersBank; R-SB: Raising SmalBank).



Figuur 4. Diepteprofiel over transect C-D voor (lichte grijze lijn) en na (zwarte lijn) ophoging van de Broersbank (linkerpaneel) en Smalbank (rechterpaneel).

3. MODELSETTINGS EN GESELECTEERDE STORM

Zoals boven aangehaald werd enkel de bathymetrie aangepast en werd er t.o.v. de referentierun niets veranderd aan de modelsettings zodat veranderingen in modeloutput enkel kunnen toegeschreven worden aan de veranderingen in de bathymetrie. De modelsettings worden voor de volledigheid nog even samengevat in Tabel 2).

Als voorbeeld wordt de Sinterklaasstorm (5-8 december 2013) genomen.

Run Name	Main settings
CM50 (Ref Case)	Bathymetry WL14_KZ <ul style="list-style-type: none"> - ERA interim windvelden - Waterstanden en stroomsnelheden van het NCS model (zie 212176-R06-20150515, REFERENTIES) - WHI-boei golfrandvoorwaarden - Default bodemwrijving Jonswap = 0.067
CM50-R_BB	Bathymetry WL14_KZ-R_BB <ul style="list-style-type: none"> - Identieke windveldeb, waterstanden, stromingen, golfrandvoorwaarden en wrijving.
CM50-R_SB	Bathymetry WL14_KZ-R_SB <ul style="list-style-type: none"> - Identieke windvelden, waterstanden, stromingen, golfrandvoorwaarden en wrijving.

Tabel 2. Simulaties uitgevoerd in SWAN.

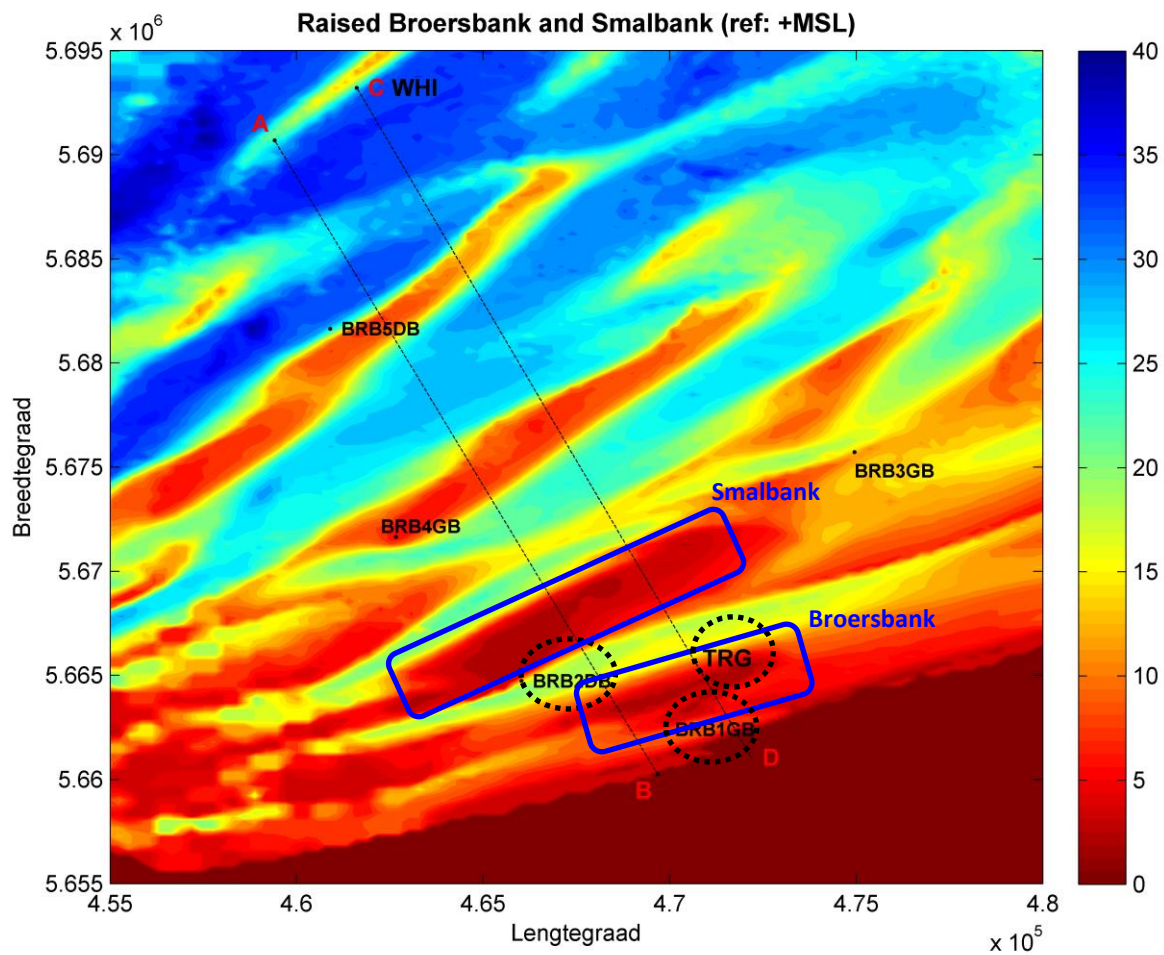
4. RESULTATEN

4.1. Golfhoogtes op de boeilocaties

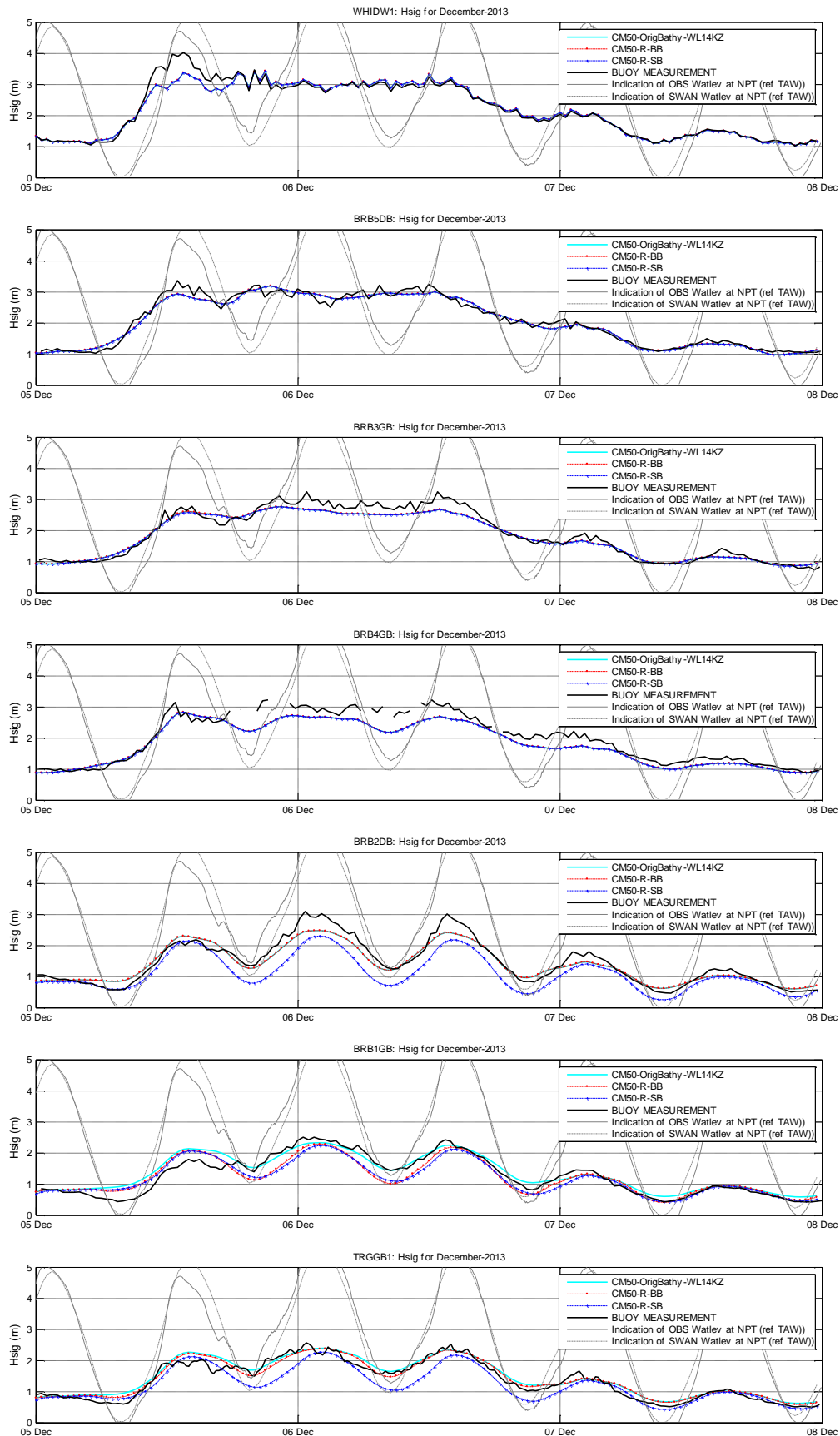
De boeilocaties waar we veranderingen verwachten in golfcondities bij de twee ophoogscenario's v zijn BRB2DB, BRB1GB and TRG (Figuur 5). In Figuur 6 worden de berekende significante golfhoogtes H_{m0} geplot op de 7 boeilocaties en zoals verwacht is er enkel een verschil te zien in de hierboven genoemde boeilocaties.

- De significante golfhoogte op locatie BRB2DB toont enkel een vermindering in het scenario CM50-R-SB (verhoging Smalbank). In scenario CM50-R-BB (verhoging Broersbank) verandert op die locatie de waterdiepte niet voor golven die zich naar de kust toe voortplanten t.o.v. het referentiescenario.
- Ook op Trapegeer zien we hetzelfde patroon wat betreft de verandering in berekende golfhoogte. Enkel in scenario CM50-R-SB zien we een merkbare reductie in golfhoogte. Merk op dat TRG zich op het oostelijke uiteinde van de Broersbank bevindt en daardoor ook niet onderhevig is aan de effecten van ophoging van de Broersbank.
- Op locatie BRB1GB zien we een verlaging van de significante golfhoogte in beide scenario's. In het scenario waarbij de Broersbank verhoogd wordt (CM50-R-BB), is het effect iets meer uitgesproken.

Met deze resultaten in het achterhoofd, bekijken we in de volgende sectie in meer detail waar de dissipatieprocessen zich precies afspelen en naar de resulterende energieflexen.



Figuur 5. Overzicht van het studiegebied met aanduiding van de opgehoogde Smalbank en Broersbank, en van de meetlocaties waar een verandering wordt verwacht in de golfcondities bij uitvoering van de scenario's. De transects A-B en C-D zijn eveneens aangeduid.



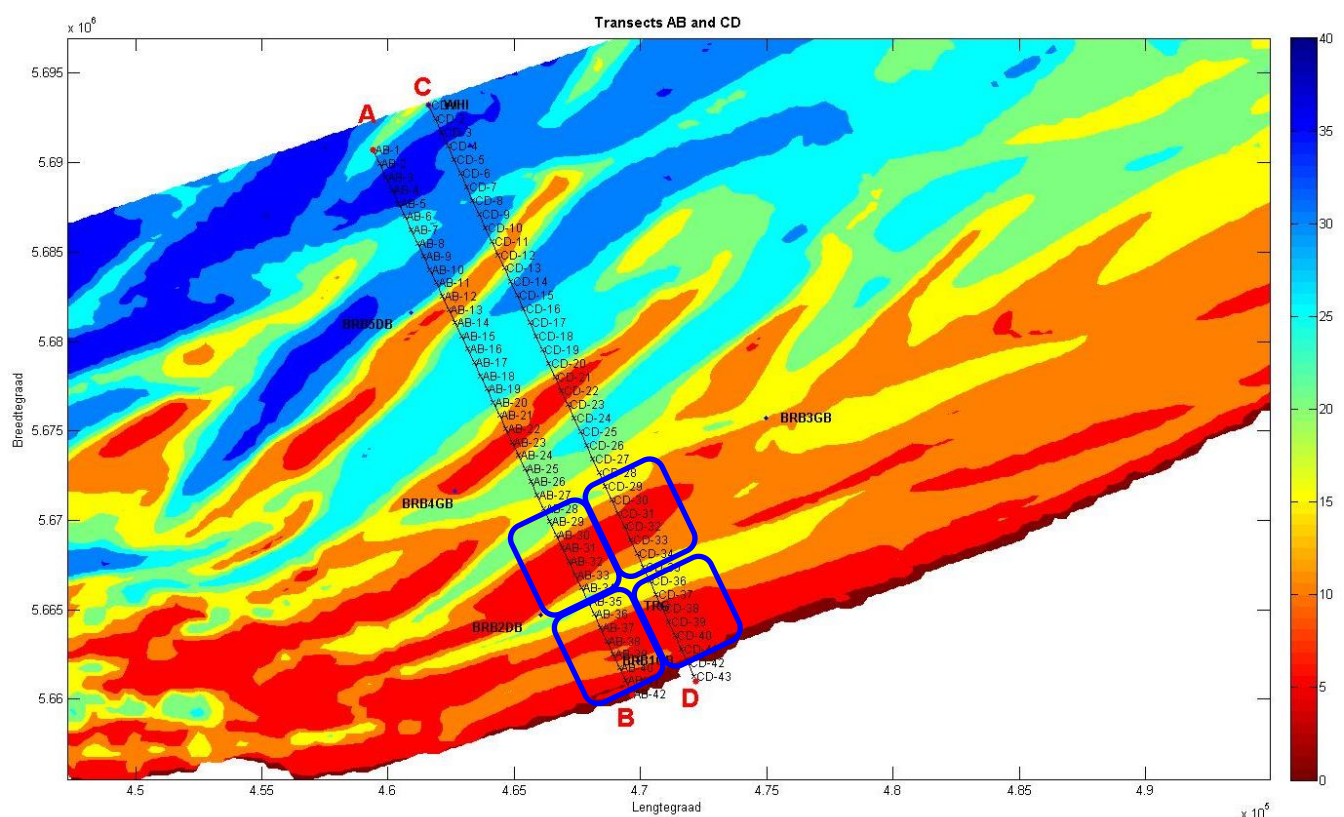
Figuur 6. Gesimuleerde significante golfhoogte H_{m0} uit de SWAN berekening voor de 3 cases (referentie + de 2 ophoogscenario's) samen met de gemeten H_{m0} voor de locaties WHI, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB3GB, BRB2DB, BRB1GB and TRG en waterstanden voor locatie Nieuwpoort.

4.2. Energieflux en dissipatiemechanismes op de transects over de zandbanken

Met het oog op een meer gedetailleerde analyse van de dissipatieprocessen die golven ondergaan op hun tocht naar de kust, werden twee transecten AB en CD (Figuur 7 en Tabel 3) uitgezet. Ze lopen over de zandbanken heen en hebben een uitvoerpunt om de 250m. SWAN output van de verschillende runs wordt opgeslagen zodat gedetailleerde informatie met betrekking tot de dissipatieprocessen kan geplotted worden.

A-B profile	UTM31-y	UTM31-x
A	5690688	459413
B	5660256	469677
C-D profile		
C (\approx WHI)	5693217	461614
D	5661020	472202

Tabel 3. Coördinaten in UTM31 voor begin- en eindpunt voor de transecten AB en CD.

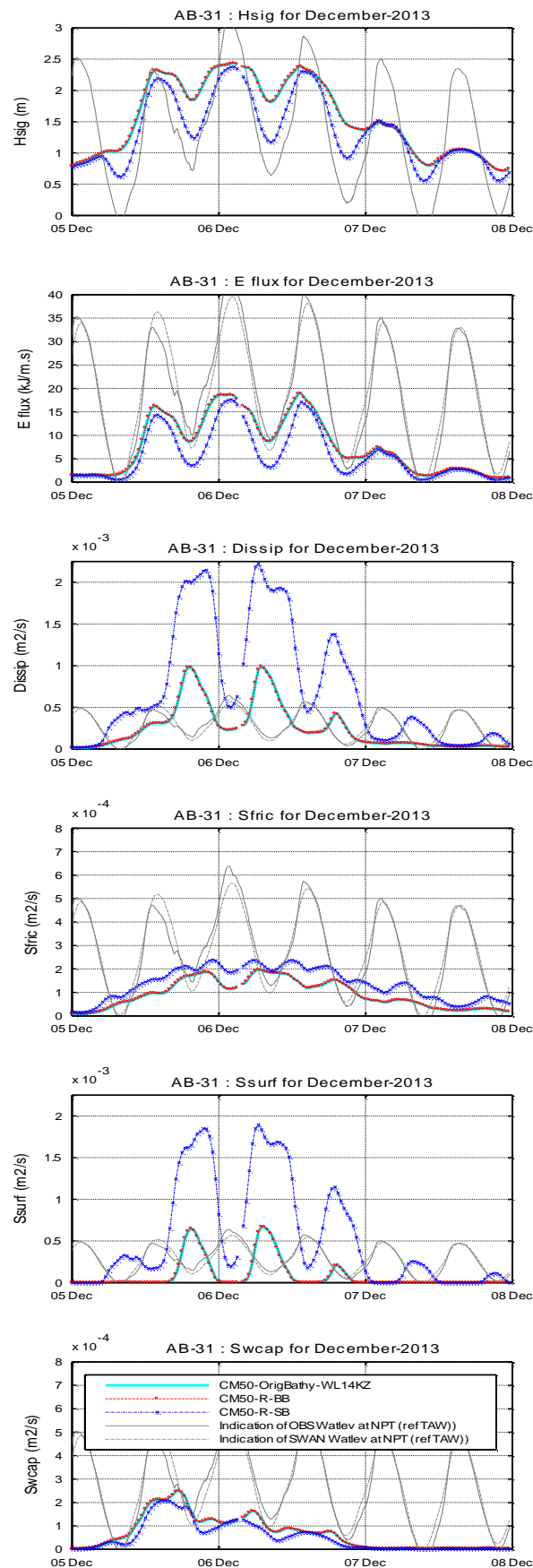


Figuur 7. Aanduiding van de transecten AB en CD over de zandbanken. Specifieke uitvoerpunten op de Smalbank en de Broersbank bevinden zich in de blauwe rechthoeken.

In Tabel 4 worden de SWAN outputvariabelen gegeven die dan samen worden geplot voor de punten op de Smalbank en Broersbank (Figuur 7). In Figuur 8 kan men een voorbeeldplot terugvinden voor punt AB31 (punt 31 op transect AB), maar alle plots worden getoond in ANNEX 2.

SWAN outputs	Getoond in de plots (i.e. Figuur 8)
Hsig (in m)	
X_Transp: energietransport in x (in m ³ /s van west naar oost)	Energy flux (KJ/m.s) = <i>Energie transport</i> * ρ * g
Y_transp: energietransport in y (in m ³ /s van zuid naar noord)	
Dissip: totale energiedissipatie (in m ² /s)	
Sfric: energiedissipatie door bodemwrijving (in m ² /s)	
Ssurf: energiedissipatie door dieptebreking (in m ² /s)	
Swcap: energiedissipatie door schuimkopjes (in m ² /s)	

Tabel 4. Selectie van SWAN outputvariabelen langs de transects AB en CD.



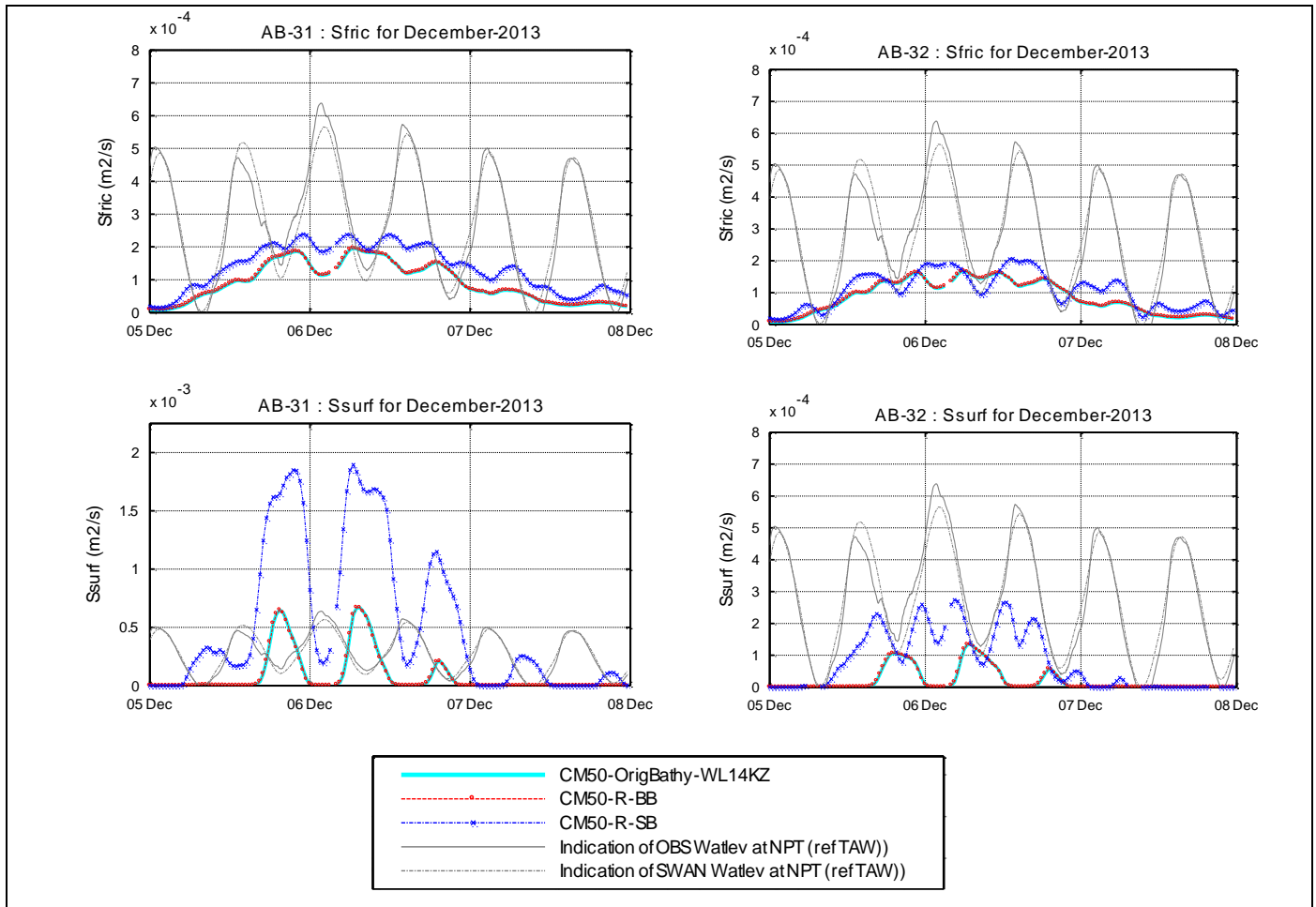
Figuur 8. Voorbeeld plot van SWAN output voor de 3 scenario's (referentiescenario CM50; scenario CM50-R_BB verhoging Broersbank; en scenario CM50-R_SB verhoging Smalbank) voor punt AB31. Van boven naar onder: Hm0, energieflex, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, diepte geïnduceerde breking en dissipatie door schuimkopjes.

5. DISCUSSIE

Door sequentieel te kijken naar de manier waarop de significante golfhoogte H_{m0} , de energieflex en de dissipatieve processen veranderen wanneer men van offshore naar de kust gaat over de zandbanken langs de transecten (zie ook ANNEX 2: Swan parameters over transects AB and CD voor de plots), krijgt men een algemeen beeld van het verloop van die processen. Het is bijzonder interessant om naar de verschillende scenario's (referentiescenario CM50; scenario CM50-R_BB verhoging Broersbank; en scenario CM50-R_SB verhoging Smalbank, zie sectie 2 voor details) te kijken en te zien waar de hoogte van de zandbanken een rol speelt bij de dissipatieprocessen en wat er met de overblijvende golfenergie gebeurt nadat het over een zandbank is geraakt. Eerst wordt het scenario met verhoging van de **Smalbank** bekeken (uitvoerpunten AB30-AB35 and CD30-CD35 in ANNEX 2). Deze uitvoerpunten liggen op de Smalbank. Voor het referentiescenario (CM50) en voor het scenario met verhoging van de Broersbank (CM50-R-BB) is er daar geen verandering in de bathymetrie en daarom wordt het scenario CM50-R-BB hier niet verder besproken. De meest opvallende verandering zijn te zien op punt AB31, daarom wordt in wat volgt dieper ingegaan op wat gebeurt op punt AB30, punt AB31 en punten AB32 tot AB35. Het is goed om hier op te merken dat wat hieronder wordt beschreven voor de punten langs transect AB ook geldig zijn voor de punten met zelfde nummers op transect CD, zie ANNEX 2. Volgende zaken vallen op:

- Op punt AB30 (net voor AB31) ondervinden de golven nog geen veranderingen t.o.v. het referentiescenario. Het belangrijkste energiedissipatieproces is de dissipatie via schuimkopjes, met een vrij kleine bijdrage van energiedissipatie door bodemwrijving.
- Op punt AB31 zijn er al vrij grote verschillen tussen het referentiescenario en scenario CM50-R-SB. Energiedissipatie door schuimkopjes verschilt nauwelijks van die op punt AB30, maar men ziet pieken van energiedissipatie door dieptebreking bij lage waterstanden. Ook bodemwrijving wordt belangrijker bij laag water. Voor het scenario met verhoogde Smalbank (CM50-R-SB) krijgt men een heel verschillend patroon. Diepte geïnduceerde breking wordt hier heel dominant. Bij lagere waterstanden wordt de energiedissipatie door dieptebreking bijna drie maal groter dan in het referentiescenario. Deze dissipatieterm is dan niet alleen ongeveer 10 maal groter dan de andere dissipatieprocessen op dat punt maar ook groter dan de energiedissipatie door dieptebreking op de daaropvolgende punten (zie Figuur 9). Men ziet duidelijk dat de golven breken bij lagere waterstanden, en dat heeft een gevolg op het patroon van energiedissipatie door bodemwrijving. Op punt AB31 verliezen de golven energie door bodemwrijving, waarbij een patroon met twee pieken en dalen per getijcyclus waarneembaar is. Op het eerste zicht verwachten we een toename van energiedissipatie door bodemwrijving bij lagere waterstanden. Door het bijkomende energieverlies door dieptebreking vermindert echter de totale energieinhoud van het spectrum. Door die vermindering van energie in het spectrum neemt ook de energiedissipatie door bodemwrijving af (bodemwrijving is evenredig met de energie in het golfveld maar omgekeerd evenredig met de waterdiepte). Of met andere woorden, in deze situatie is het effect van de vermindering van de waterdiepte op de resulterende bodemwrijving kleiner dan het effect van de afname

van golfenergie door dieptebreking en krijgen we dus als resultaat een kleinere energiedissipatie door bodemwrijving.

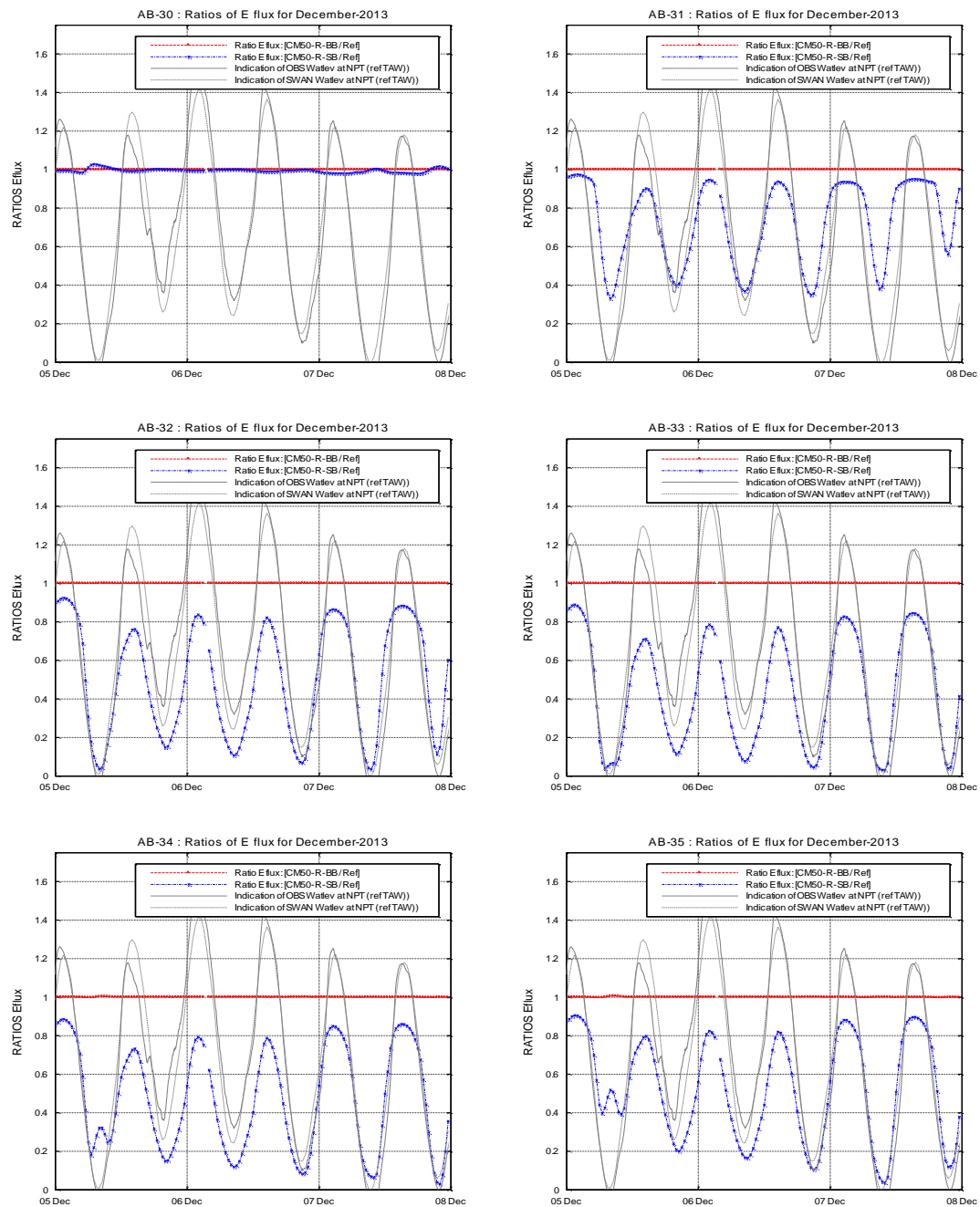


Figuur 9. Detail of bottom friction and depth induced breaking at point AB-31 (left) and AB-32 (right). Ref Case: CM50, Case CM50-R_BB and Case CM50-R_SB. Notice the different scale in depth induce breaking.

- Naar de kust toebewegend ziet men dat vanaf AB32 er in het referentiescenario nog genoeg golfenergie overschiet om nog dissipatie te hebben in de drie processen. Bijgevolg krijgt men ook toenemende dissipatie door dieptebreking bij lage waterstanden, en ziet men ook hier een dubbele piek in de dissipatie door bodemwrijving per getijcyclus. Anderzijds merkt men de sterke afname van de energieflex in het scenario met verhoogde Smalbank (CM50-R-SB) omwille van de sterke voorafgaande dieptebreking (zie locatie AB31). T.o.v. het referentiescenario krijgt men dan op AB32 een ander patroon in de dissipatieprocessen. Door de dieptebreking op punt AB31, komt er bij laag water relatief weinig energie door op punt AB32 (energieflex is bijna nul), zie rechterpaneel in Figuur 9. Dit verklaart volledig het eerste dal in energiedissipatie door dieptebreking. Wanneer binnen een getijcyclus de waterstand terug hoger wordt, ziet men eerst een toename van de dissipatie door dieptebreking tot op een punt waar de waterdiepte zo groot wordt dat de energiedissipatie door dieptebreking terug vermindert en men een tweede dal krijgt bij hoog water. Dit wisselspel tussen enerzijds energie afknippen door de Smalbank te

verhogen, en anderzijds energie doorlaten bij hogere waterstanden, zorgt voor dit patroon van 2 toppen en twee dalen in het energiedissipatieproces per getijcyclus.

- Voor de punten AB33-AB35 in het referentiescenario zien we geen dissipatie door dieptebreking meer, maar de bodemwrijving op locatie AB33 is nog altijd gemoduleerd door het brekingsproces in meer zeewaartse punten. Verder naar de kust toe zien we dat voorbij AB33 dissipatie door bodemwrijving heel klein wordt. De waterdiepte wordt hier na de passage over de Smalbank terug dieper. Bij het scenario waar de Smalbank opgehoogd wordt (CM50-R-SB), is er nog altijd wat energiedissipatie door breking zelfs bij hoog water en ook de dissipatie door bodemwrijving is groter dan in het referentiescenario. Niettegenstaande de significante golfhoogte drastisch is gedaald door de golfbreking, zorgt de geringere waterdiepte toch nog voor een toename aan energiedissipatie door bodemwrijving. De grootte van die dissipatie gaat samen met het op en neer gaan van het water door het getij.
- Om de veranderingen en vermindering in energieflex over de Smalbank wat begrijpelijker te kunnen voorstellen, wordt de ratio tussen de energieflex bij het verhogingsscenario van de Smalbank (CM50-R-SB) en het referentiescenario geplot (zie Figuur 10 en ANNEX 3: Ratio's energieflex en $Hm0$ over transects AB en CD). Bijkomend werd ook de ratio voor $Hm0$ (voor dezelfde scenario's) berekend en geplot (zie ANNEX 3: Ratio's energieflex en $Hm0$ over transects AB en CD). Zoals verwacht is de ratio van de energieflex gelijk aan 1 op punt AB30 (en CD30) gezien er aan het begin van de transects AB en CD nog geen verandering is in de bathymetrie. Dichter naar de kust toe (van AB31 tot AB35) wordt het effect van de verschillen in de dissipatieprocessen in de paragrafen hierboven beschreven, zichtbaar. Men ziet een algemene val van de ratio van de energieflex (veroorzaakt door de vermindering in scenario CM50-R-SB) en er is een duidelijke modulatie met het getij. Hetzelfde patroon kan teruggevonden worden in de figuren met de $Hm0$ ratio (zie ANNEX 3: Ratio's energieflex en $Hm0$ over transects AB en CD) zij het minder uitgesproken vanwege het kwadratische verband tussen de golfhoogte $Hm0$ en de energie ($Hm0 = 4\sqrt{E}$). Op het punt AB31 wordt bij laag water een reductie in energieflex tot -60% waargenomen op de top van de Smalbank voor het scenario met verhoogde Smalbank, uiteraard gekoppeld aan de sterke energiedissipatie door dieptebreking. Bij hoogwater is de vermindering beperkt, in dit geval slechts een 5%. De golfbreking op punt AB31, heeft ook een impact op de ratio van de energieflex dicht bij de kust. Op de punten AB32 tot AB35, is er nog een vermindering van -10% bij bepaalde hoge waterstanden en kan tot -90% bereiken bij lage waterstanden.

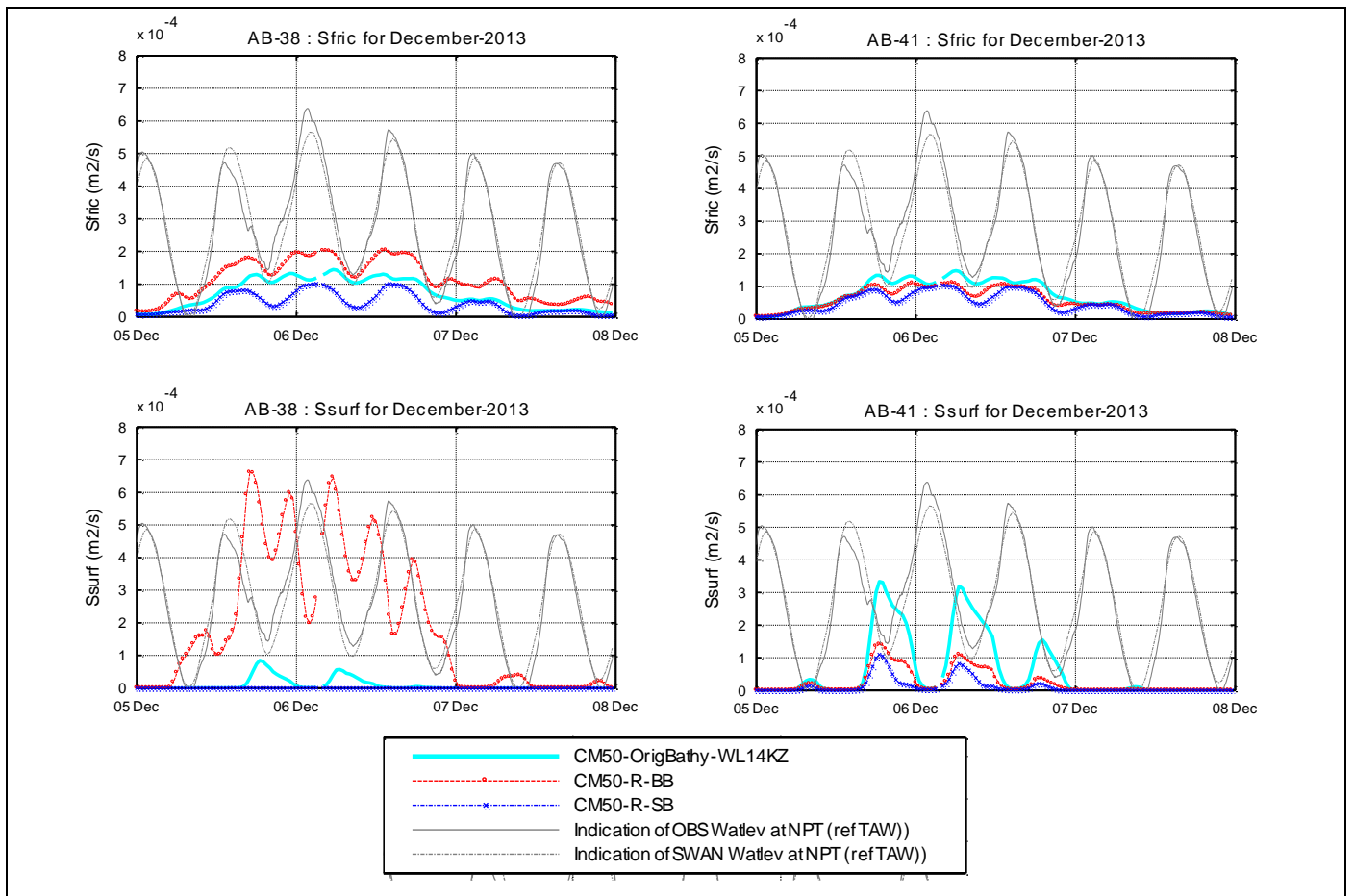


Figuur 10. Ratio van de energieflux ([scenario CM50-R_BB /referentiescenario: CM50] en [scenario CM50-R_SB/referentiescenario CM50]) op de Smalbank locaties AB30 tot AB35.

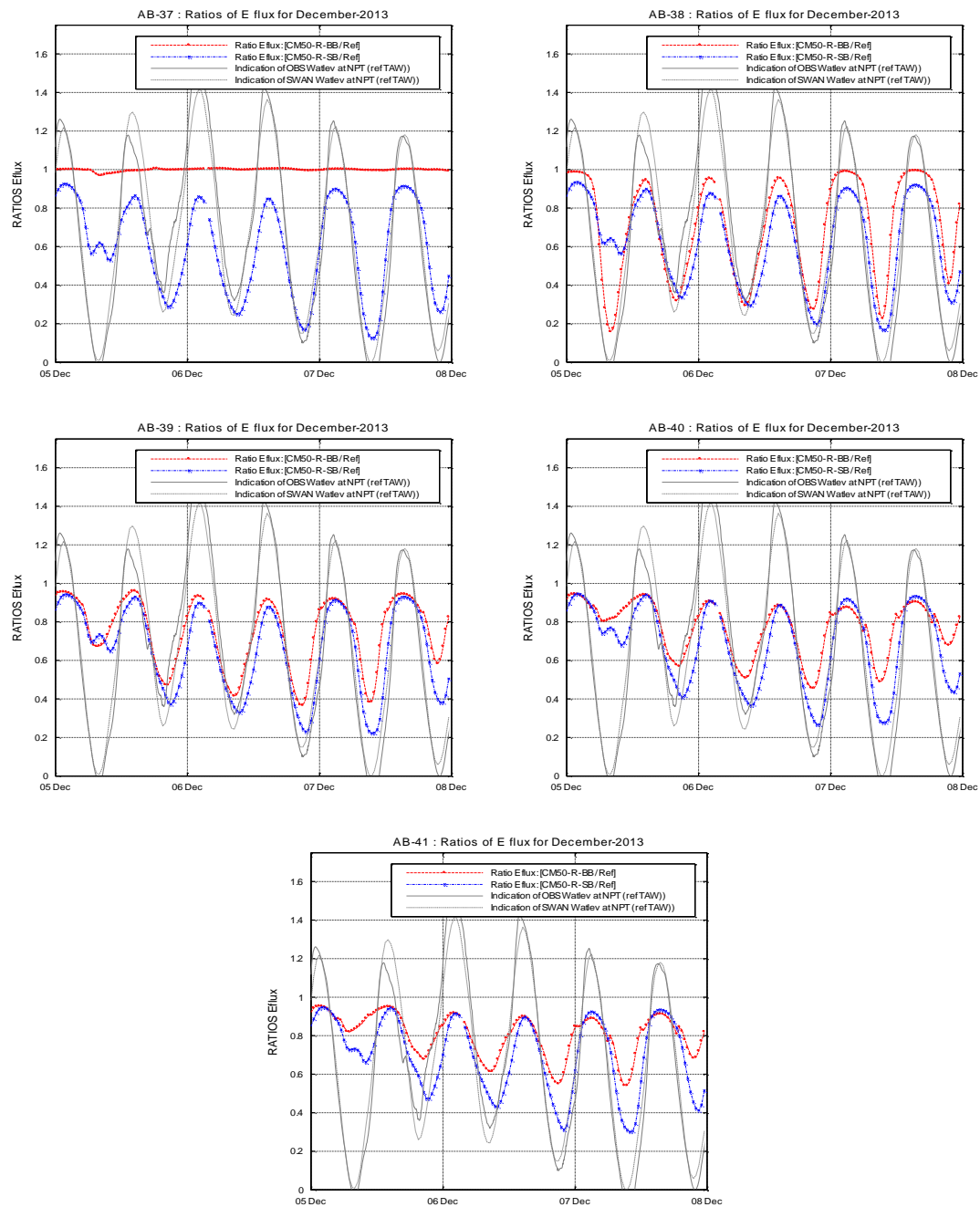
Na bovenstaande bespreking van de impact van het scenario met de verhoging van de Smalbank, wordt in onderstaand deel het scenario met verhoging van de **Broersbank** geanalyseerd (locaties AB36-AB41 en CD37-CD41 in ANNEX 2: Swan parameters over transects AB and CD). Het is interessant om daarbij te kijken naar de verschillen tussen dit scenario en het referentiescenario. Er zijn heel wat gelijkenissen met het scenario met verhoging van de Smalbank (zie hoger), maar hieronder wordt toch nog wat ruimer aandacht besteed aan de interpretatie van dit specifieke scenario:

- In het scenario met verhoging van de Smalbank (CM50-R-SB) ziet men dat de dissipatieve processen over Broersbank relatief klein uitvallen gezien er reeds veel energie is verloren ten gevolge van de kleinere waterdieptes over de Smalbank. Bijgevolg zijn de energieflex en de golfhoogte H_{m0} kleiner dan in het referentiescenario. Bodemwrijving is zichtbaar op alle locaties en is gerelateerd aan waterdiepte dat op haar beurt beïnvloed wordt door de waterstand (getij). Breking door schuimkopjes is voor alle locaties zichtbaar. Dieptebreking komt pas tot uiting in het laatste punt AB41. Daar zijn de waterdieptes bij laag water beperkt en al voldoende klein om de aankomende golven te doen breken.
- Op de meest zeewaartse stations (locaties AB37 en CD37, zie ANNEX 2: Swan parameters over transects AB and CD), is er geen verschil tussen de scenario's te zien.
- Vanaf station AB38 en CD38 kan men de eerste effecten zien teweeggebracht door de verhoging van de Broersbank. Het referentiescenario toont slechts beperkte brekingsdissipatie bij laag water, maar voor het scenario met verhoging van de Broersbank (CM50-R-BB) wordt het energiedissipatie gedomineerd door dieptebreking (zie linkerpaneel in Figuur 11). Het grootste effect van dieptebreking voor scenario CM50-R-BB is zichtbaar op locatie CD38 (Figuur 2.7 in ANNEX 2: Swan parameters over transects AB and CD) met zoals verwacht pieken in dissipatie bij laag water. Dit specifiek dissipatiepatroon is minder herkenbaar op de uitvoerlocaties van transect AB. Toch wordt dit patroon ook langs transect AB verwacht tussen de uitvoerlocaties AB37 en AB38. Door dieptebreking is er een merkbare daling in energieflex en bijgevolg ook in golfhoogte. Men ziet ook dat de impact op de bodemwrijving gelijkaardig is als in de hierboven beschreven dissipatieeffecten op de Smalbank, met modulatie van de sterkte van de wrijving bij laagwater wanneer dieptebreking maximaal is.
- Verder op de bank naar de kust toe (AB38 and CD39) ziet men nog heel duidelijk het effect van dieptebreking met een heel specifiek patroon van verminderde breking bij laag water (zie linkerpaneel in Figuur 11 en Figuur 2.7 in ANNEX 2: Swan parameters over transects AB and CD). De energiedissipatie door dieptebreking is kleiner in het referentiescenario waardoor de bodemwrijving dan gemoduleerd wordt.
- Op locatie AB41, vrij dicht bij de kust, is de dissipatie dieptebreking sterker in het referentiescenario dan in de twee scenario's met verhoging van de Smalbank (CM50-R-SB) of de Broersbank (CM50-R-BB), al blijft het natuurlijk zo dat ook in deze twee scenario's er nog altijd breking is op de kustlijn (zie rechterpaneel in Figuur 11).

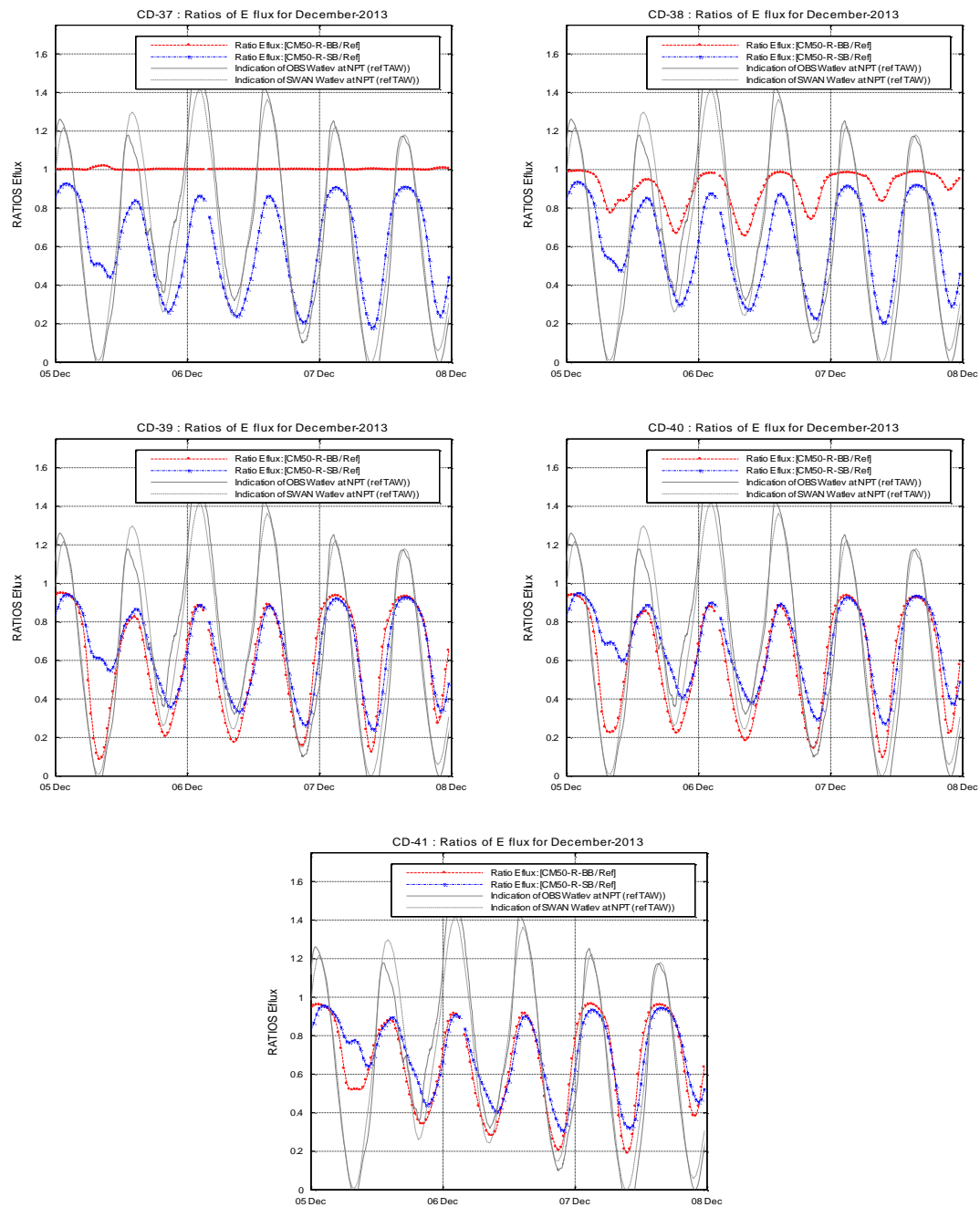
- Om beter inzicht te krijgen in de verandering van de energiefluxen als gevolg van een mogelijke verhoging van de Smalbank of de Broersbank, werden figuren gemaakt van de ratio's tussen de energieflux en de golfhoogte in het aangepast scenario en in het referentiescenario. Dit is te zien in Figuur 12, Figuur 13 and Figuur 3.4 and Figuur 3.7 in ANNEX 3: Ratio's energieflex en Hm0 over transects AB en CD. Zoals ook al aangehaald bij de bespreking van het effect van de verhoging van de Smalbank al aangehaald, ziet men in dat scenario CM50-R_SB reeds een vermindering van de energieflex in locaties AB36, AB37 en CD37 (open zeekant van de zandbank), terwijl op die locaties uiteraard nog geen verandering zichtbaar is (ratio=1) in de energieflexen (of golfhoogtes) in het scenario verhoging Broersbank (CM50-R_BB). In het scenario verhoging Broersbank kan men zien dat de energieflex en golfhoogte Hm0 begint te dalen op het moment dat de dissipatieprocessen beginnen te veranderen t.o.v. het referentiescenario (Figuur 12, Figuur 13 and in ANNEX 3: Ratio's energieflex en Hm0 over transects AB en CD). Op locatie CD38 (Figuur 13) is er al een reductie in de energieflex van 30% bij laagwater, terwijl bij hoog water er geen merkbare reductie is. Door de dieptebreking, uiteraard het meest actief bij laag water) ziet men vanaf locaties AB38 en CD39 richting kust, een aanzienlijk verschil in energieflex. Langs de transect AB daalt de energieflex in het scenario verhoging Broersbank tot maximaal 60 tot 80% (locatie AB38 bij laag water). De daling in energieflex is minder spectaculair (40-60%) op locaties AB39 en AB41. Langs het transect CD is die daling meer constant over het volledige transect en ziet men op zowat alle locaties dalingen van rond de 80% op al die locaties (CD39, CD40 and CD41).
- Wanneer men de ratio's op de locaties over de Broersbank vergelijkt in de twee scenario's, stelt men vast dat in het scenario met verhoging van de Smalbank (CM50-R-SB) de resultaten meer homogeen zijn over beide transecten AB en CD. De maximale reductie in energieflex (bij laag water) blijft rond de 80% langs beide transecten. Dit is verschillend van het effect in het scenario met verhoging van de Broersbank (CM50-R-BB) waar er langs transect CD (CD39-CD41) er een overal een reductie van rond de 80% is in de energieflex, terwijl dat langs transect AB er nog wel altijd een reductie is van ongeveer 80% op locatie AB38, maar dat dit aanzienlijk minder wordt op locatie AB39 (60%) en AB41 (40%). Dit heeft natuurlijk te maken met het feit dat er al een aanzienlijke reductie door vooral dieptebreking is in het referentiescenario. Door verhoging van de Broersbank wordt een deel van de dissipatie door breking wel zeewaarts verschoven. Dit is ook te zien in het aangepaste bodemprofiel van de zandbank. In het paneel rechts beneden van Figuur 2 kan men zien dat in het geval van het scenario met verhoging van de Broersbank CM50-R-BB, de verhoging aanzienlijk minder is langs transect AB dan langs transect CD. Dit heeft uiteraard een effect op het resulterende dissipatiepatroon. Transect CD wordt daarom ook meegenomen in de uiteindelijke besluiten die kunnen getrokken worden.



Figuur 11. Detail van de dissipatie door bodemwrijving en dieptebreking op locaties AB-38 (links) en AB-41 (rechts). Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB).



Figuur 12. Ratio's van de energieflux ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB/ Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties (AB37 tot AB41).



Figuur 13. Ratio's van de energieflex ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB/ Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties (CD37 tot CD41).

6. CONCLUSIES

Alhoewel bovenstaande analyse van de twee scenario's (verhoging Smalbank enerzijds of verhoging Broersbank anderzijds) is gebeurd aan de hand van de numerieke simulaties voor één specifieke storm (de Sinterklaasstorm) kan men toch een aantal meer algemene conclusies trekken:

- Door de bestaande zandbanken ter verhogen kan men tot op zekere hoogte inspelen op de locatie waar dieptebreking plaats vindt.
- Het brekingsproces vermindert de golfhoogte en bijgevolg ook de energieflex naar de kust toe en daarbij kan men een aantal patronen waarnemen:
 - Het effect op de energieflex van de dieptebreking is maximaal bij lage waterstand.
 - Dieptebreking heeft een modulerend effect op het bodemwrijvingsproces. Eenmaal dieptebreking plaats vindt, heeft het ook een effect op de grootte van deze dissipatievorm verder naar de kust toe.
- Voor het specifieke geval van deze storm, kan men uit de plots van de ratio's van de energieflex en van de golfhoogte H_{m0} afleiden dat afhankelijk van welk verhogingsscenario men neemt dat het brekingsproces leidt tot:
 - Reducties in energieflex net na de passage over de Smalbank (locaties AB32 tot AB35 en CD32 tot CD35) in het scenario verhoging Smalbank (CM50-R-SB) tot -90% bij laag water.
 - Reducties in energieflex net na de passage over de Broersbank (locaties CD39 tot CD41) tot -85% bij laag water (scenario verhoging Broersbank (CM50-R-BB). In geval van scenario verhoging Smalbank (CM50-R-SB) is deze reductie ook nog aanzienlijk maar is niet sterker dan -80%.

De hierboven aangehaalde cijfers zijn zoals opgemerkt enkel richtinggevend voor de gekozen storm (Sinterklaasstorm). Toch kan men al aanvoelen wat er kan verwacht worden bij andere stormen. Een storm met hogere golfhoogtes maar voor de rest gelijke waterstanden, zal relatief gezien meer gedempt worden bij de scenario's met verhoging van de zandbanken. Een storm met lagere golfhoogtes (maar zelfde waterstanden) zal minder gedempt worden.

- Verhoging van de Broersbank (scenario CM50-R-BB) is wellicht efficiënter in het reduceren van de uiteindelijke energieflex op onze kust, zeker in acht genomen dat de zandvolumes die nodig zijn om dergelijke verhoging te realiseren. Uiteraard wordt hiermee geen uitspraak gedaan over de mogelijke ecologische impact dergelijke ingreep zou hebben op het kuststelsel als een geheel, noch over de inspanningen die nodig kunnen zijn om dit in stand te houden.

7. REFERENTIES

Rapport 212176-R06-20150515 "Monitoring Broersbank - Resultaten Modelling December 2013 - Februari 2015. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.

ANNEX 1: Schatting benodigde zandvolumes voor de 2 verhogingsscenario's

Gridvolumeberekeningen: scenario verhoging Broersbank

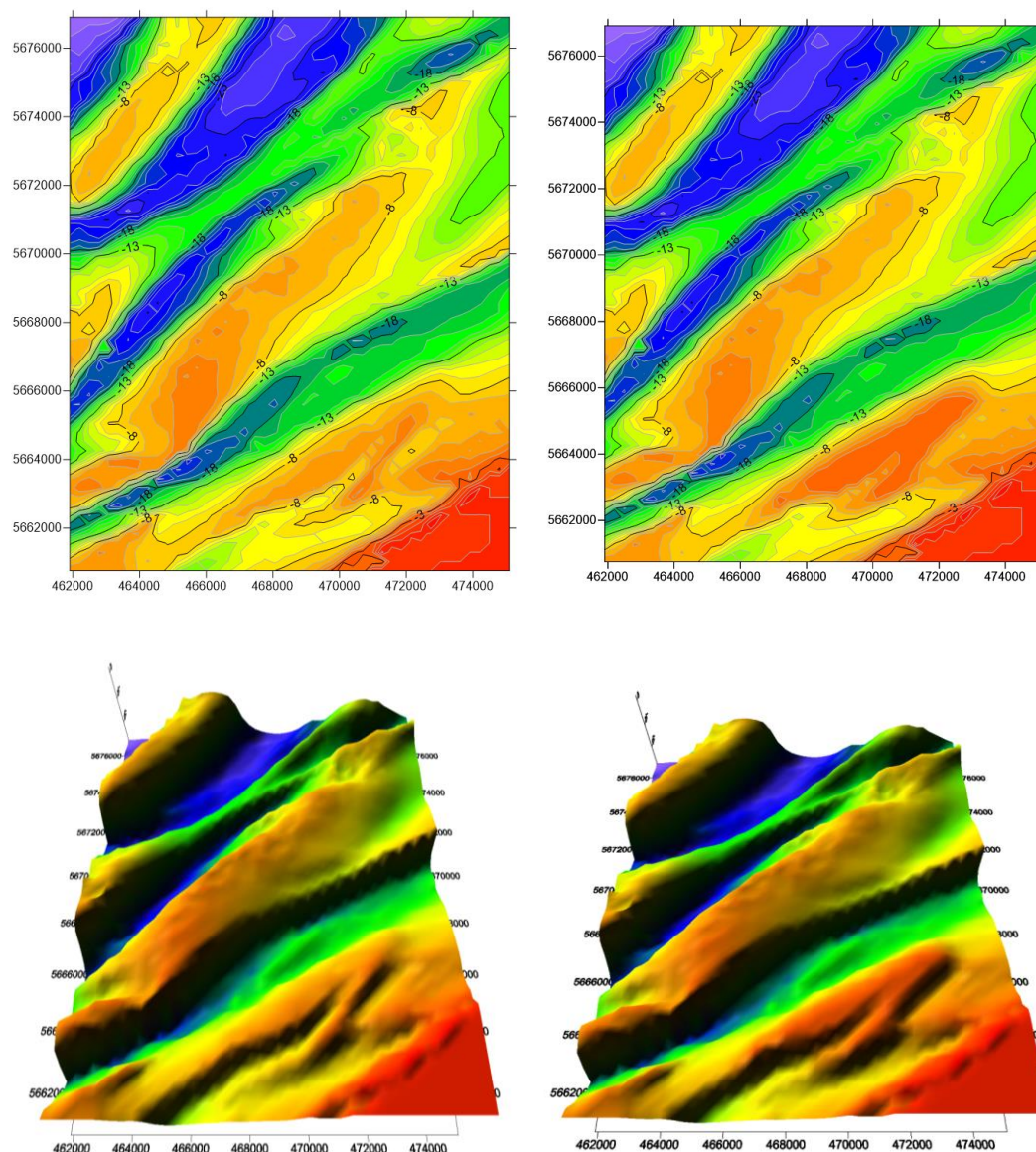
Upper Surface

Grid File Name:	DAT_ WL14_KZ-R_BB.grd		
Grid Size:	398 rows x 594 columns		
X Minimum:	438000	Y Minimum:	5651000
X Maximum:	586250	Y Maximum:	5750250
X Spacing:	250	Y Spacing:	250
Z Minimum:	-56.1488		
Z Maximum:	1.9622		

Lower Surface

Grid File Name:	DAT_ WL14_KZ.grd		
Grid Size:	398 rows x 594 columns		
X Minimum:	438000	Y Minimum:	5651000
X Maximum:	586250	Y Maximum:	5750250
X Spacing:	250	Y Spacing:	250
Z Minimum:	-56.1488		
Z Maximum:	1.9622		

Volumes	Areas
Z Scale Factor: 1	Planar Areas
Total Volumes by:	Positive Planar Area [Cut]: 14,712,781,250
	Negative Planar Area [Fill]: 1,031,250
Trapezoidal Rule: 21,412,243	Blanked Planar Area: 0
Simpson's Rule: 21,582,804	Total Planar Area: 14,713,812,500
Simpson's 3/8 Rule: 21,430,803	
Cut & Fill Volumes	Surface Areas
Positive Volume [Cut]: 22,211,271	Positive Surface Area [Cut]: 14,712,781,335
Negative Volume [Fill]: 799,028	Negative Surface Area [Fill]: 1,031,319



Figuur 2.1. Contourkaart (bovenaan) en 3D kaarten (onderaan) van de originele bathymetry (links) en van het scenario met verhoging van de Broersbank (rechts).

Gridvolumeberekeningen: scenario verhoging Smalbank

Upper Surface

Grid File Name: DAT_WL14_KZ.grd
Grid Size: 398 rows x 594 columns

X Minimum:	438000	Y Minimum:	5651000
X Maximum:	586250	Y Maximum:	5750250
X Spacing:	250	Y Spacing:	250

Z Minimum: -56.1488
Z Maximum: 1.9622

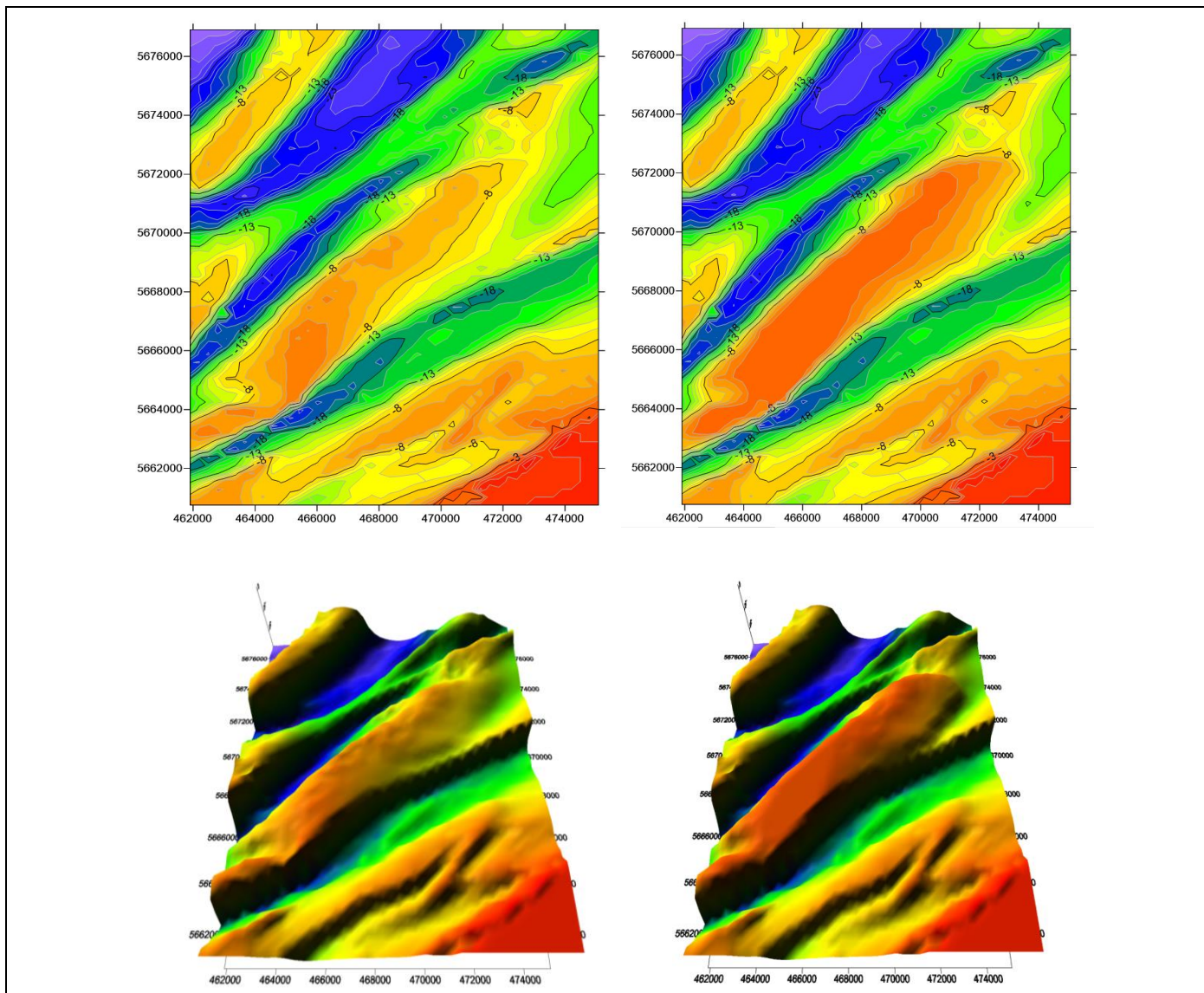
Lower Surface

Grid File Name: DAT_WL14_KZ-R_SB.grd
Grid Size: 398 rows x 594 columns

X Minimum:	438000	Y Minimum:	5651000
X Maximum:	586250	Y Maximum:	5750250
X Spacing:	250	Y Spacing:	250

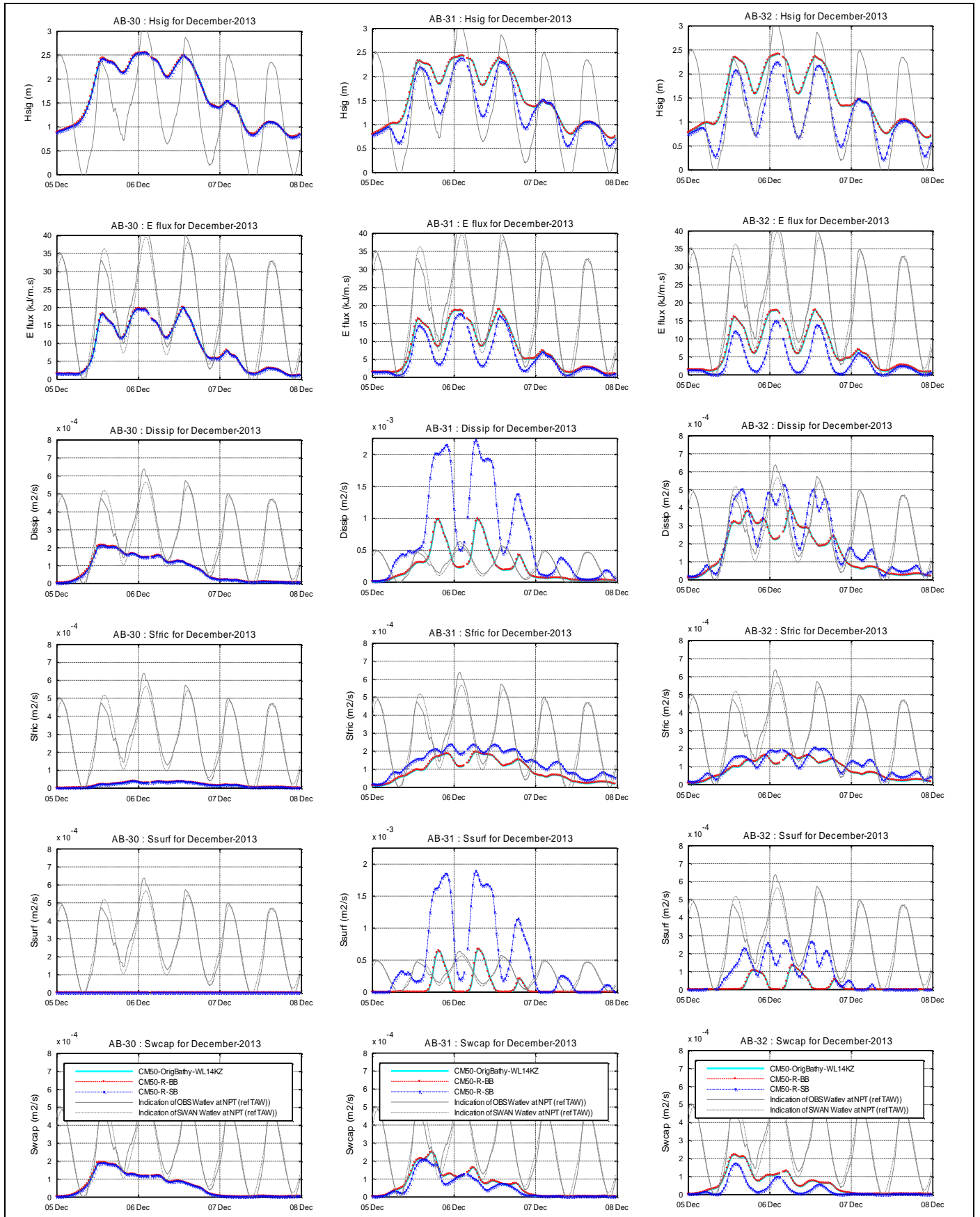
Z Minimum: -56.1488
Z Maximum: 1.9622

Volumes	Areas
Z Scale Factor: 1	Planar Areas
Total Volumes by:	Positive Planar Area [Cut]: 14,663,125,000
	Negative Planar Area [Fill]: 50,687,500
Trapezoidal Rule: 91,845,721	Blanked Planar Area: 0
Simpson's Rule: 91,896,422	Total Planar Area: 14,713,812,500
Simpson's 3/8 Rule: 91,767,134	
Cut & Fill Volumes	Surface Areas
	Positive Surface Area [Cut]: 14,663,125,069
Positive Volume [Cut]: 799,028	Negative Surface Area [Fill]: 50,687,690
Negative Volume [Fill]: 92,644,750	
Net Volume [Cut-Fill]: -91,845,721	



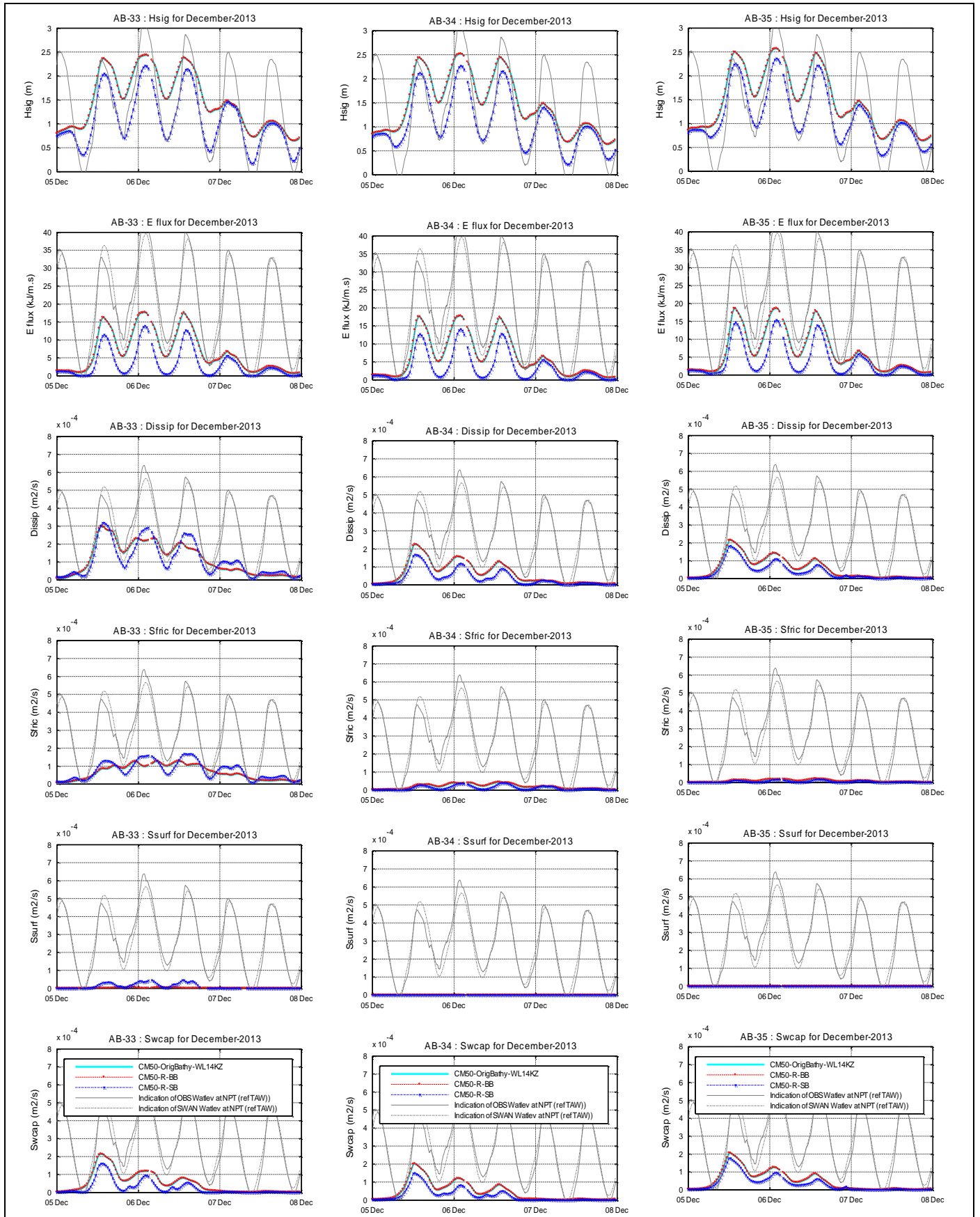
Figuur 2.2. Contourkaart (bovenaan) en 3D kaarten (onderaan) van de originele bathymetry (links) en van het scenario met verhoging van de Smalbank (rechts).

ANNEX 2: Swan parameters over transects AB and CD



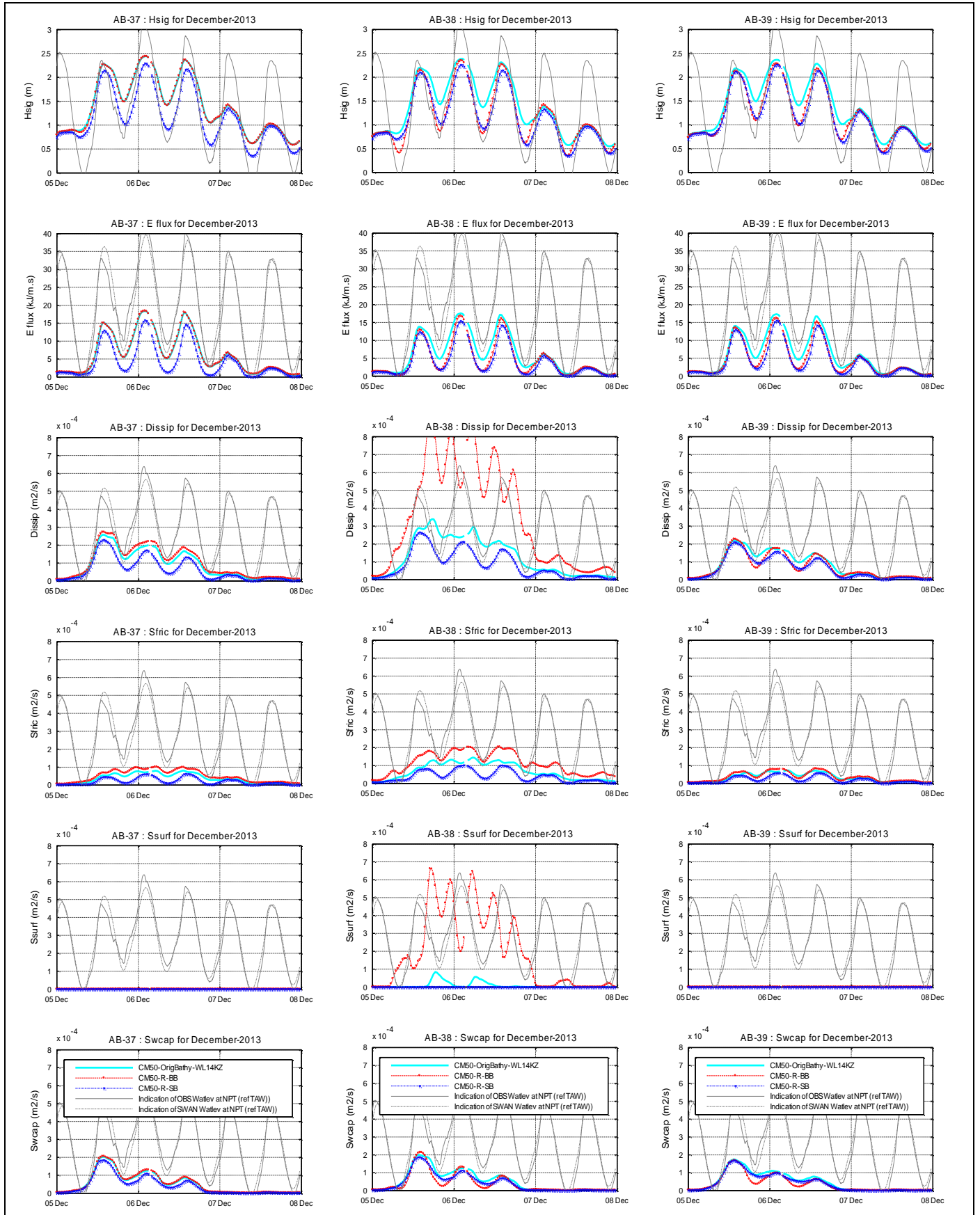
Figuur 2.1. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf

variabelen getoond: Hm0, energieflux, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekings en dissipatie door schuimkopjes op locaties AB30, AB 31 and AB32.



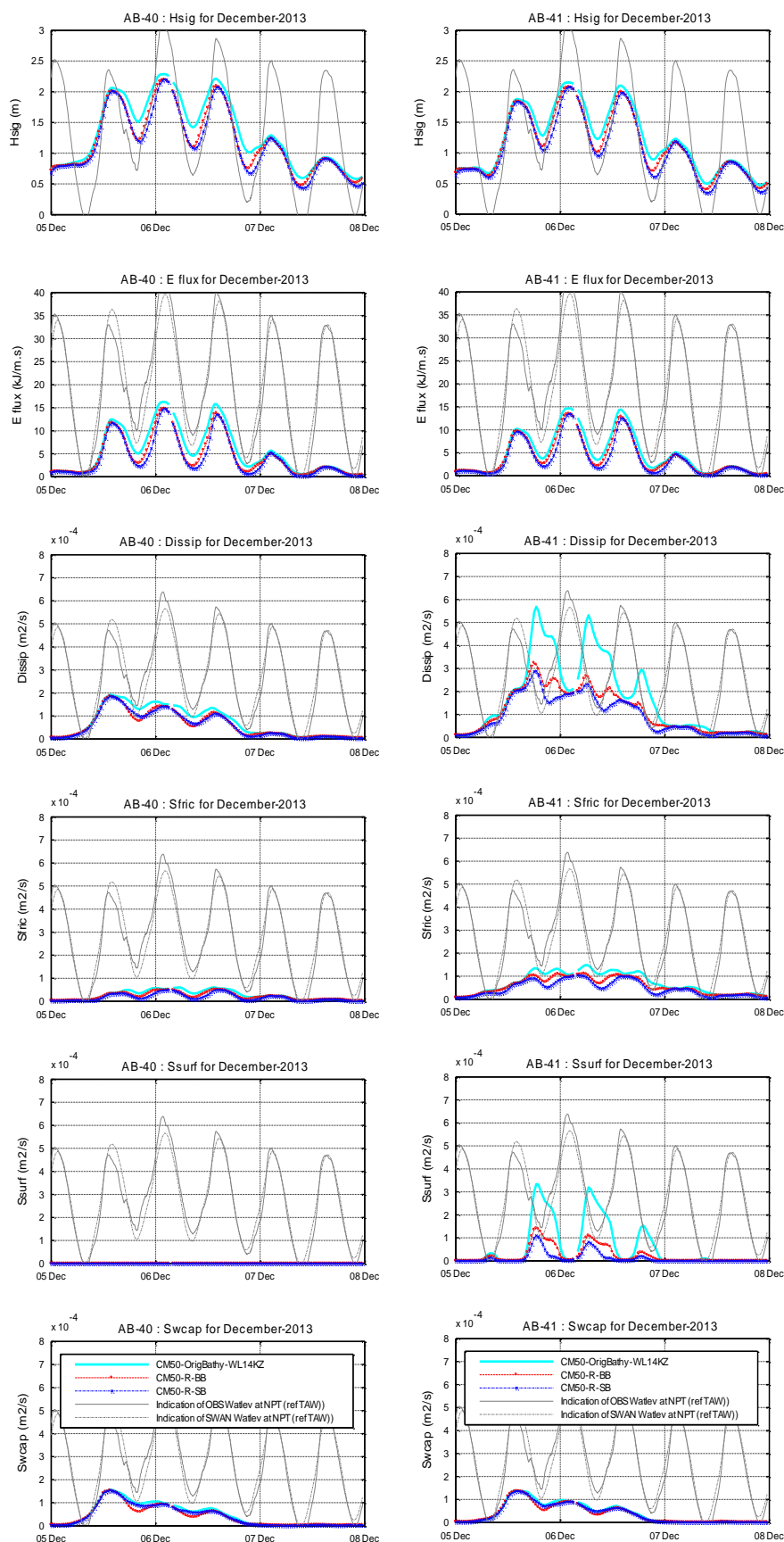
Figuur 2.2. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf variabelen

getoond: Hm0, energieflex, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekings en dissipatie door schuimkopjes op locaties AB33, AB 34 and AB35.

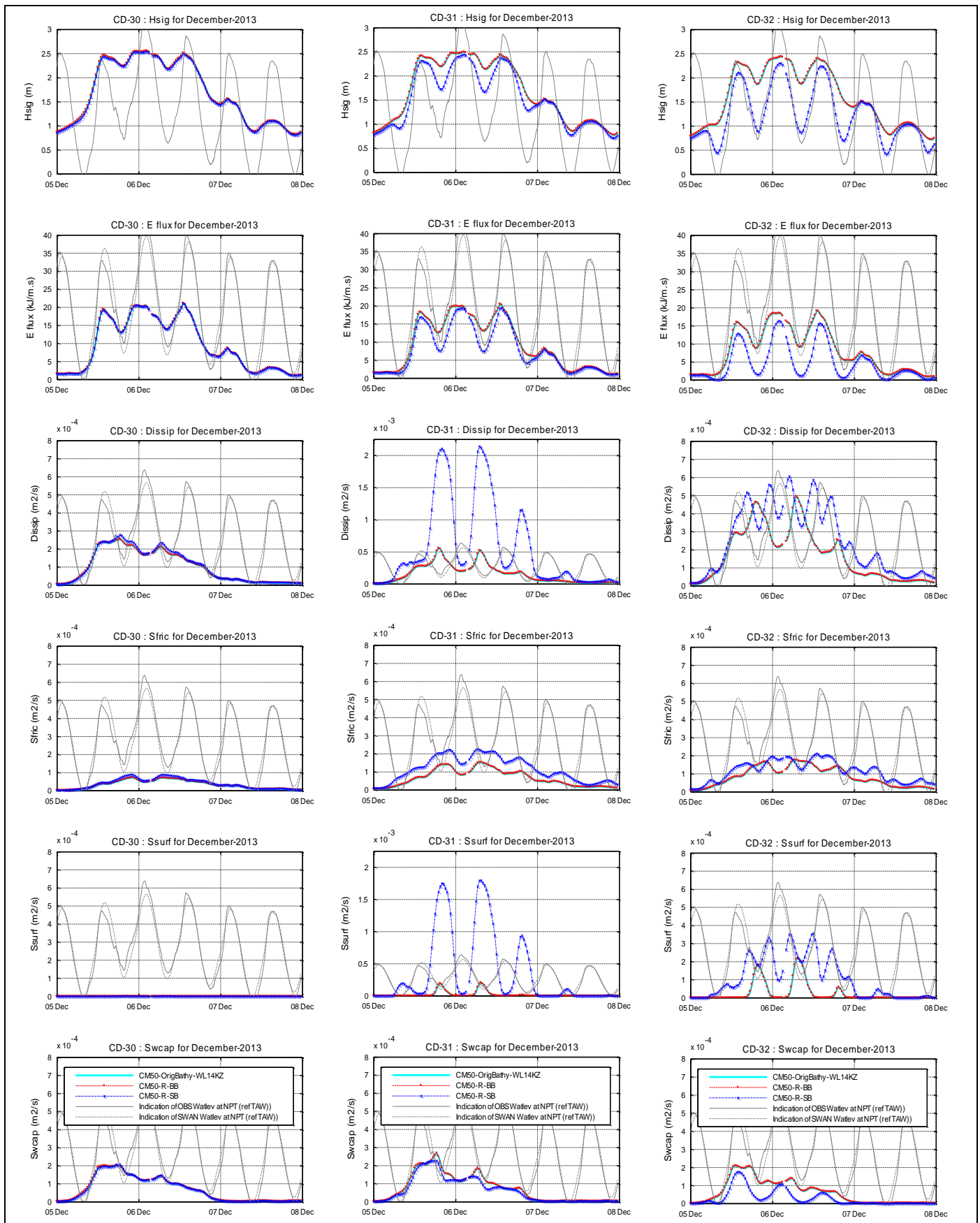


Figuur 2.3. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf variabelen

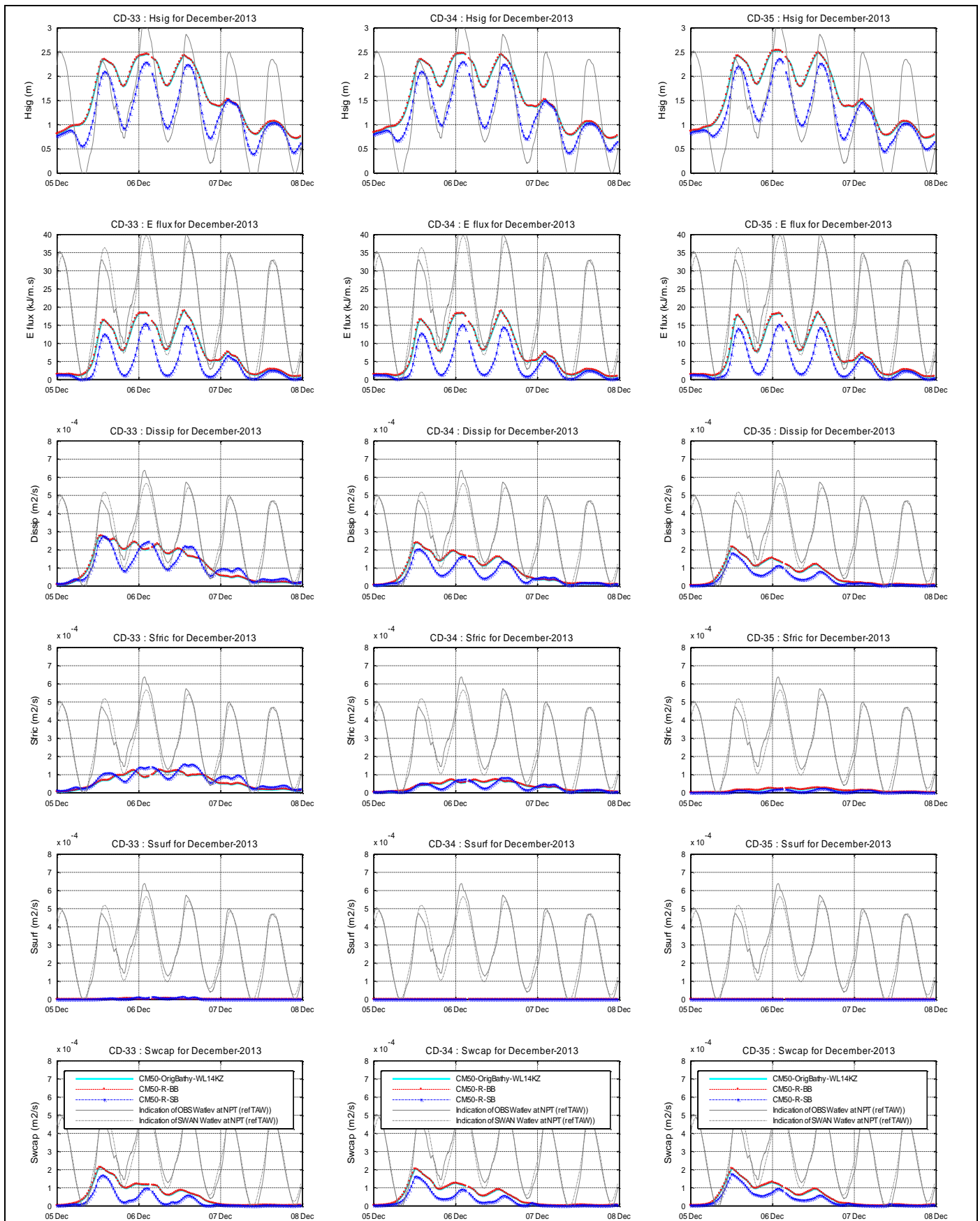
getoond: H_{m0} , energieflex, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekkingen en dissipatie door schuimkopjes op locaties AB37, AB38 and AB39.



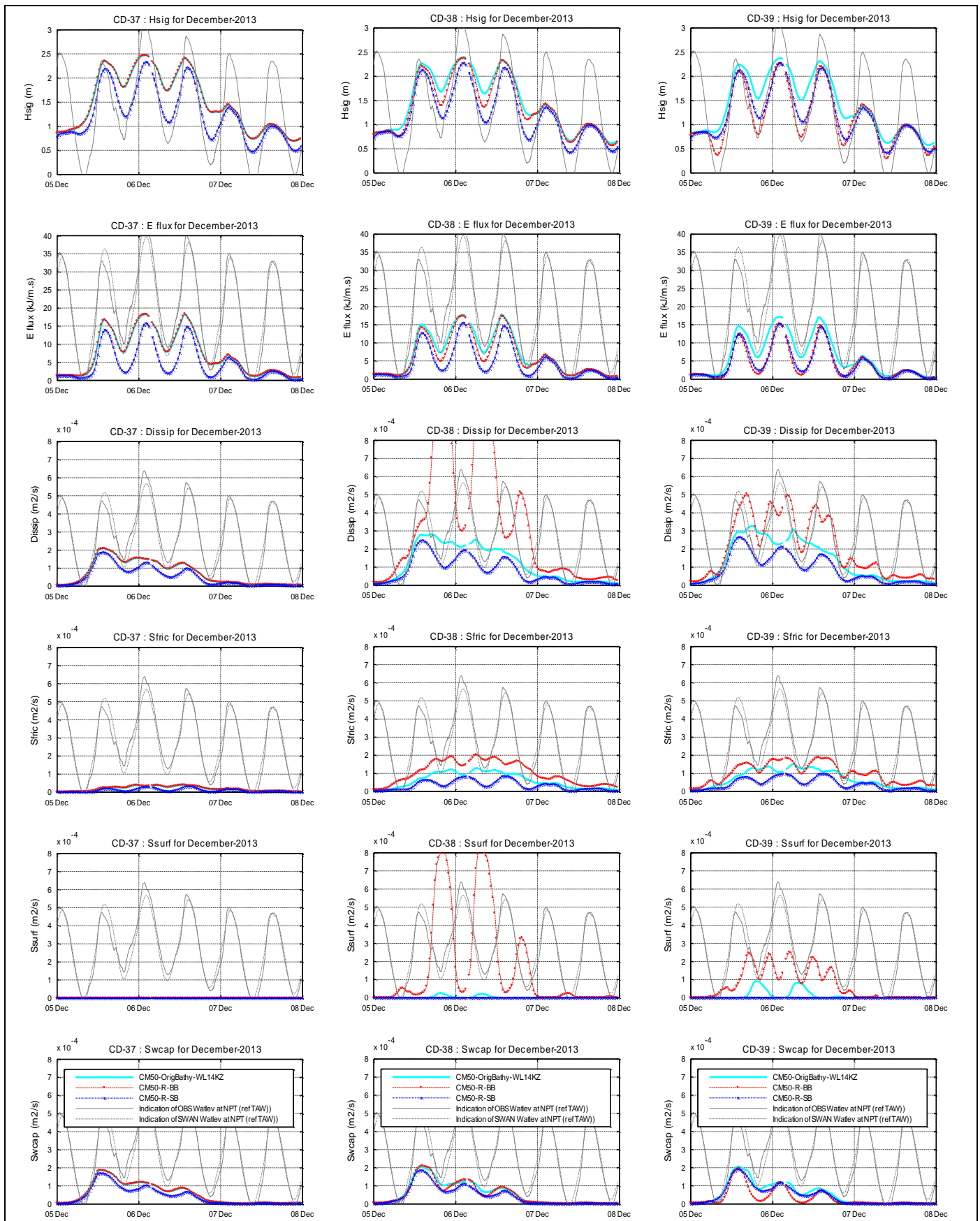
Figuur 2.4. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf variabelen getoond: H_{m0} , energieflux, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekingsen en dissipatie door schuimkopjes op locaties AB40 and AB41.



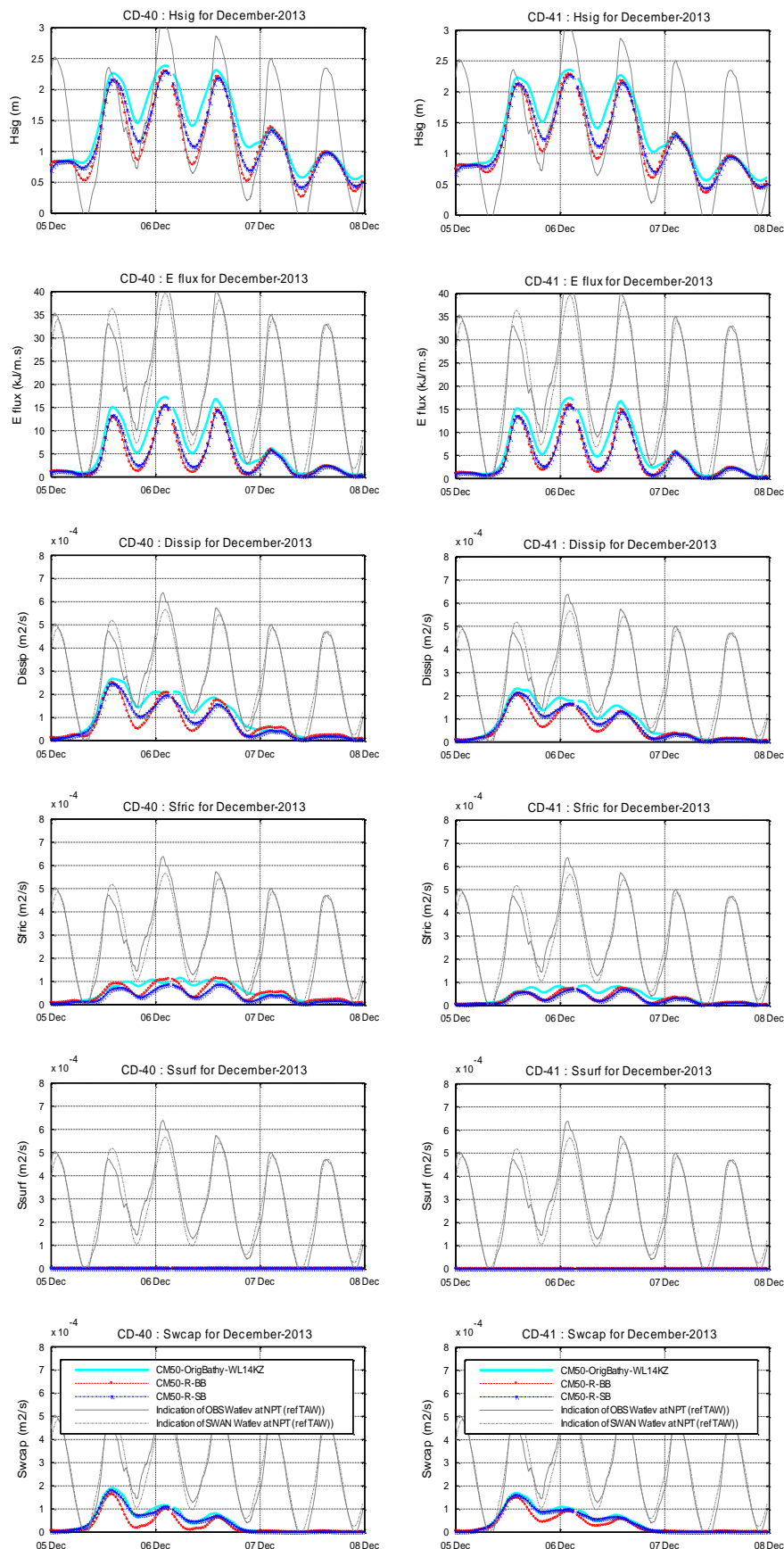
Figuur 2.5. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf variabelen getoond: Hm0, energieflux, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekingen en dissipatie door schuimkopjes op locaties CD30, CD31 en CD32.



Figuur 2.6. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf variabelen getoond: Hm0, energieflex, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekingen en dissipatie door schuimkopjes op locaties CD33, CD34 and CD35.

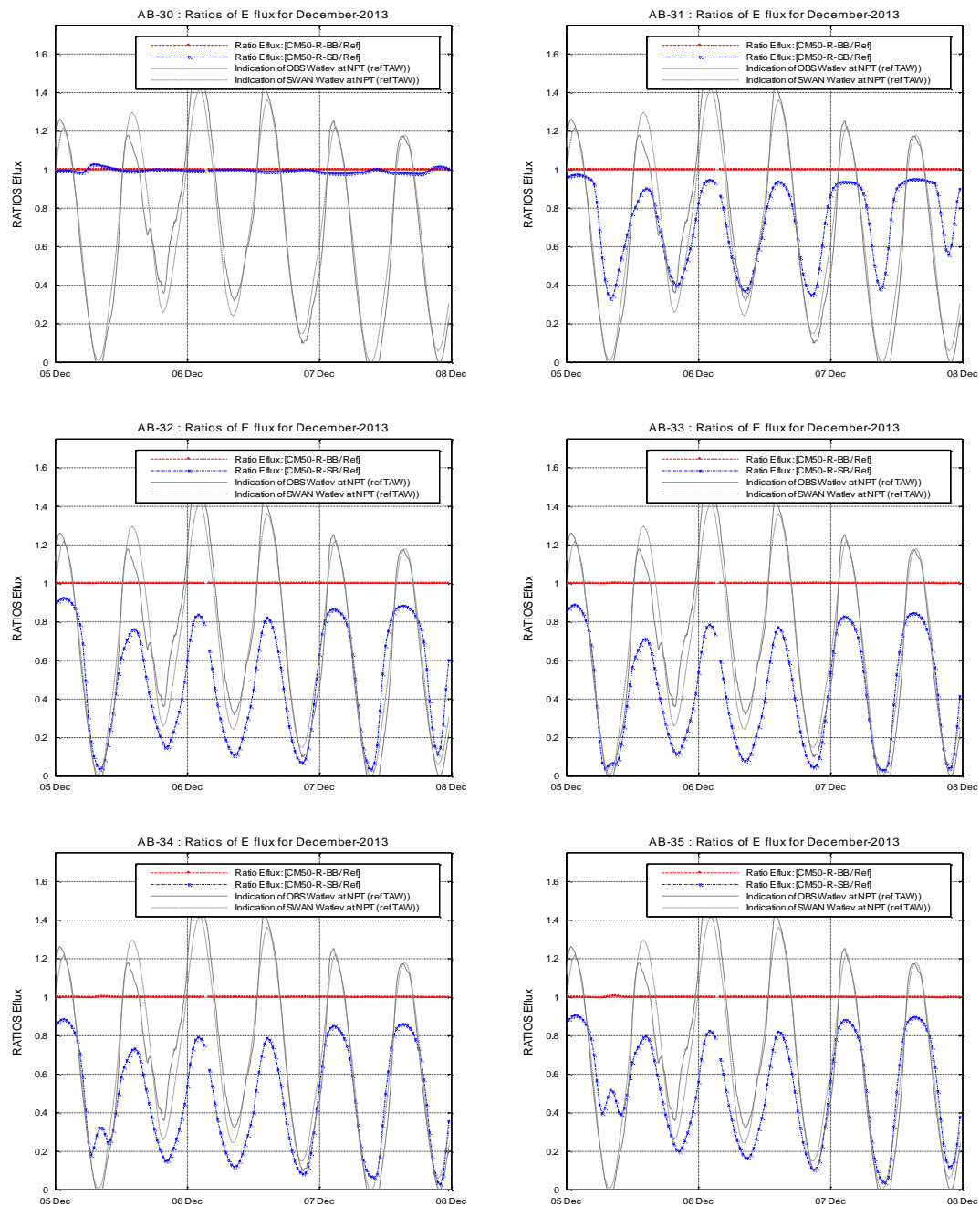


Figuur 2.7. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf variabelen getoond: Hm0, energieflex, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekingen en dissipatie door schuimkopjes op locaties CD37, CD38 and CD39.

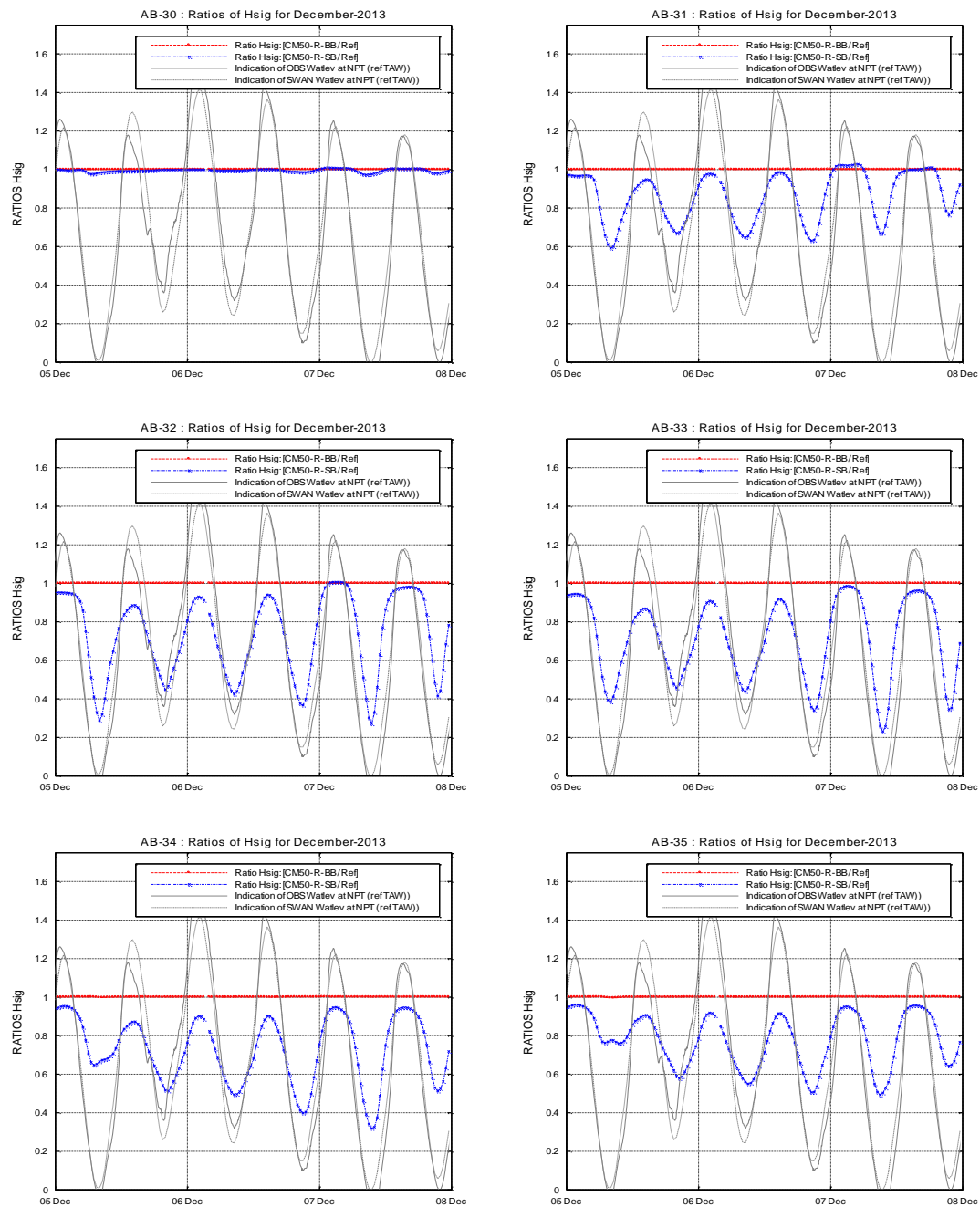


Figuur 2.8. SWAN output voor de drie scenario's (Referentiescenario (CM50), scenario's verhoging Broersbank (CM50-R)_BB en verhoging Smalbank (CM50-R_SB) langs transect AB. Van boven tot beneden worden vijf variabelen getoond: Hm0, energieflux, totale dissipatie, dissipatie door bodemwrijving, dissipatie door dieptebrekingen en dissipatie door schuimkopjes op locaties CD40 and CD41.

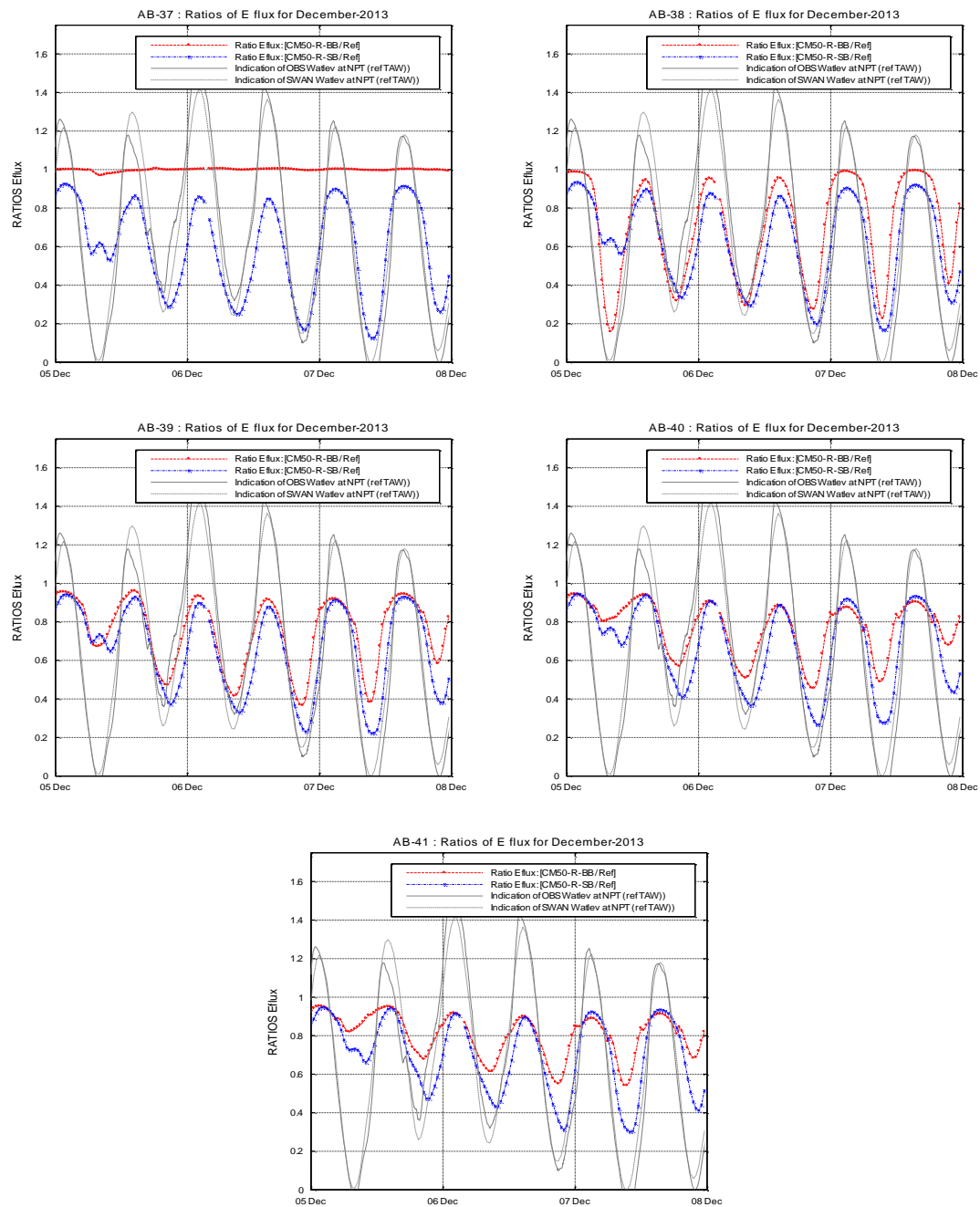
ANNEX 3: Ratio's energieflex en Hm0 over transects AB en CD



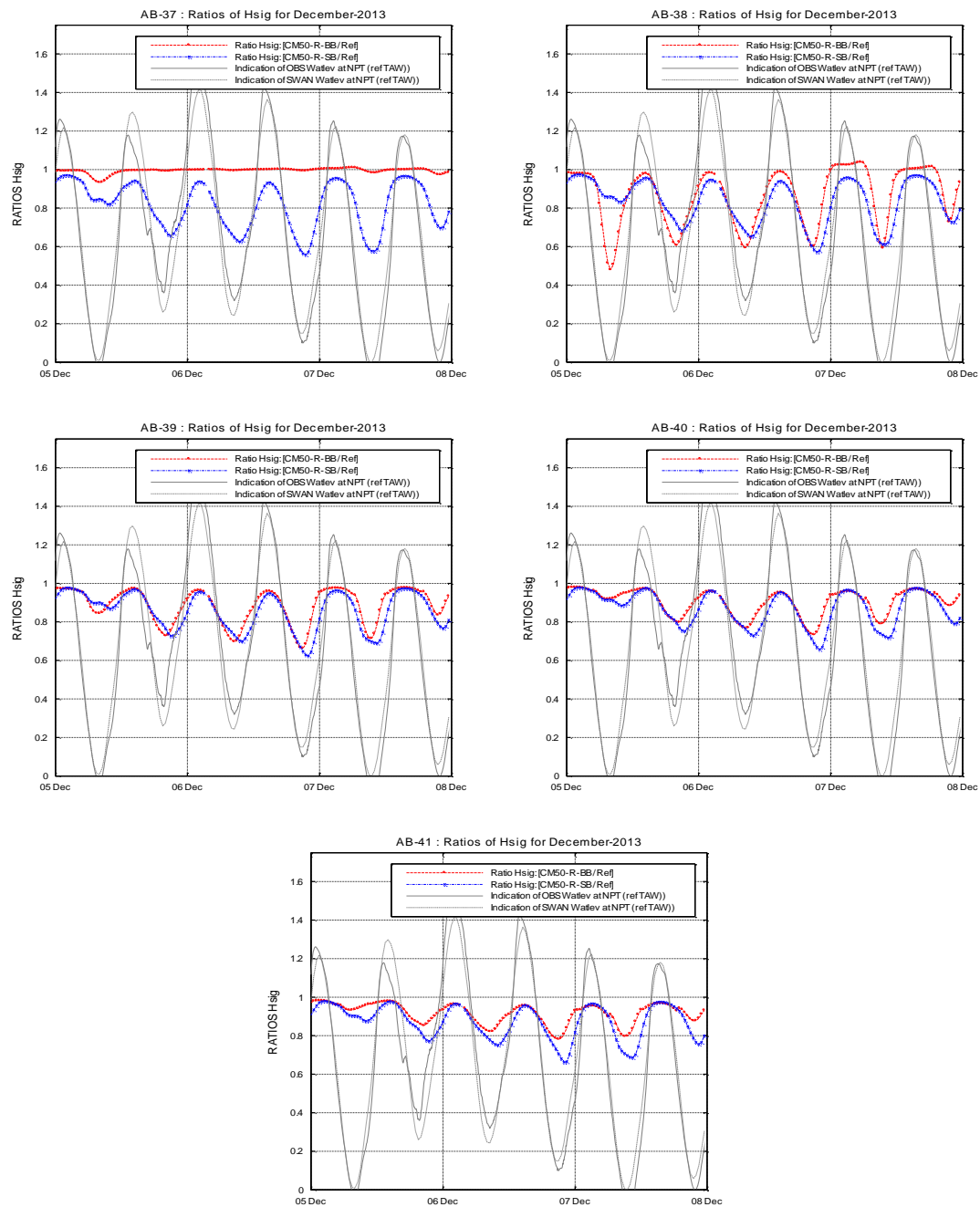
Figuur 3.1. Ratio energieflex ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB/ Referentiescenario CM50]) op de Smalbank locaties AB30 tot AB35.



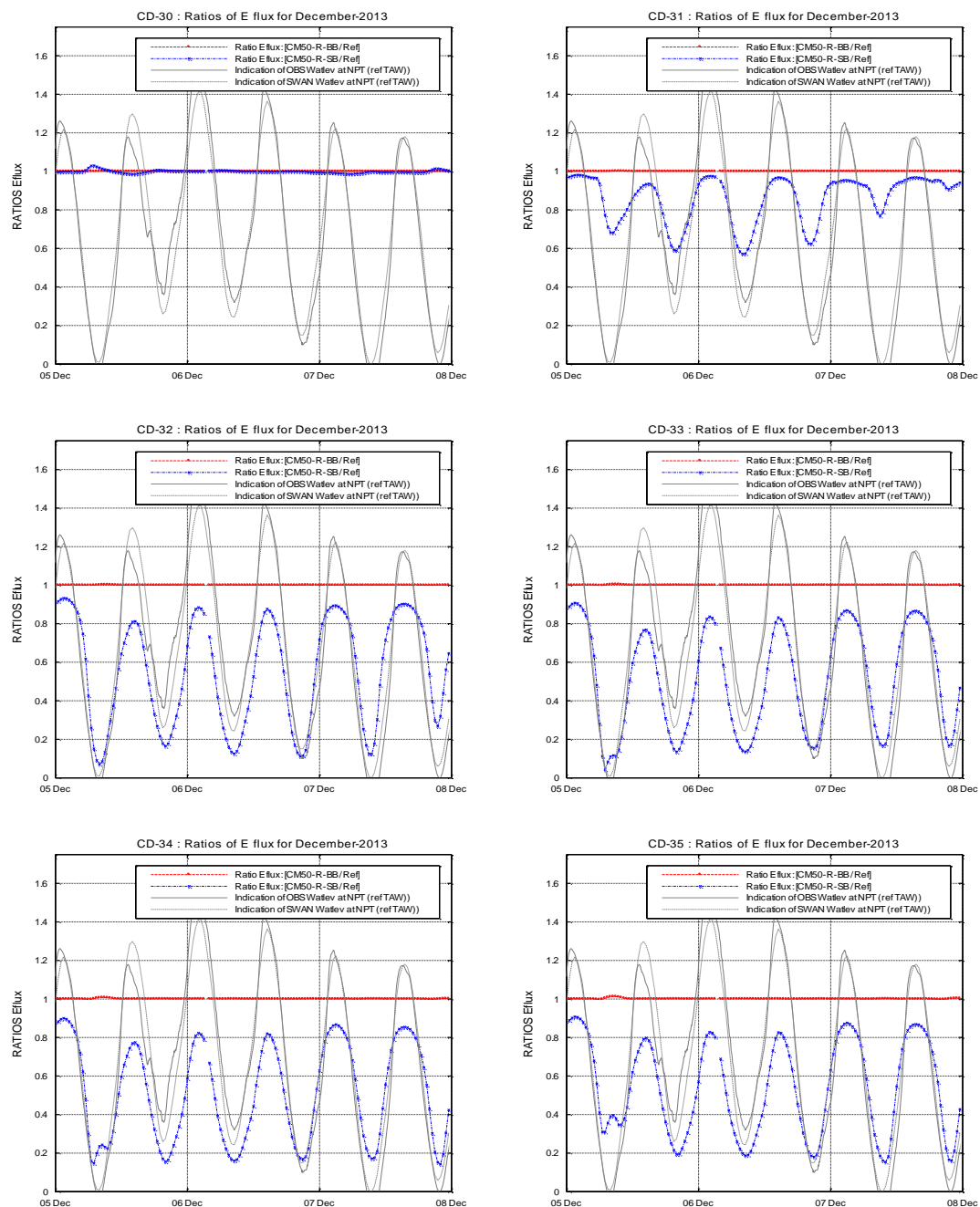
Figuur 3.2. Ratio golfooogte H_{m0} ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB/ Referentiescenario CM50]) op de Smalbank locaties AB30 tot AB35.



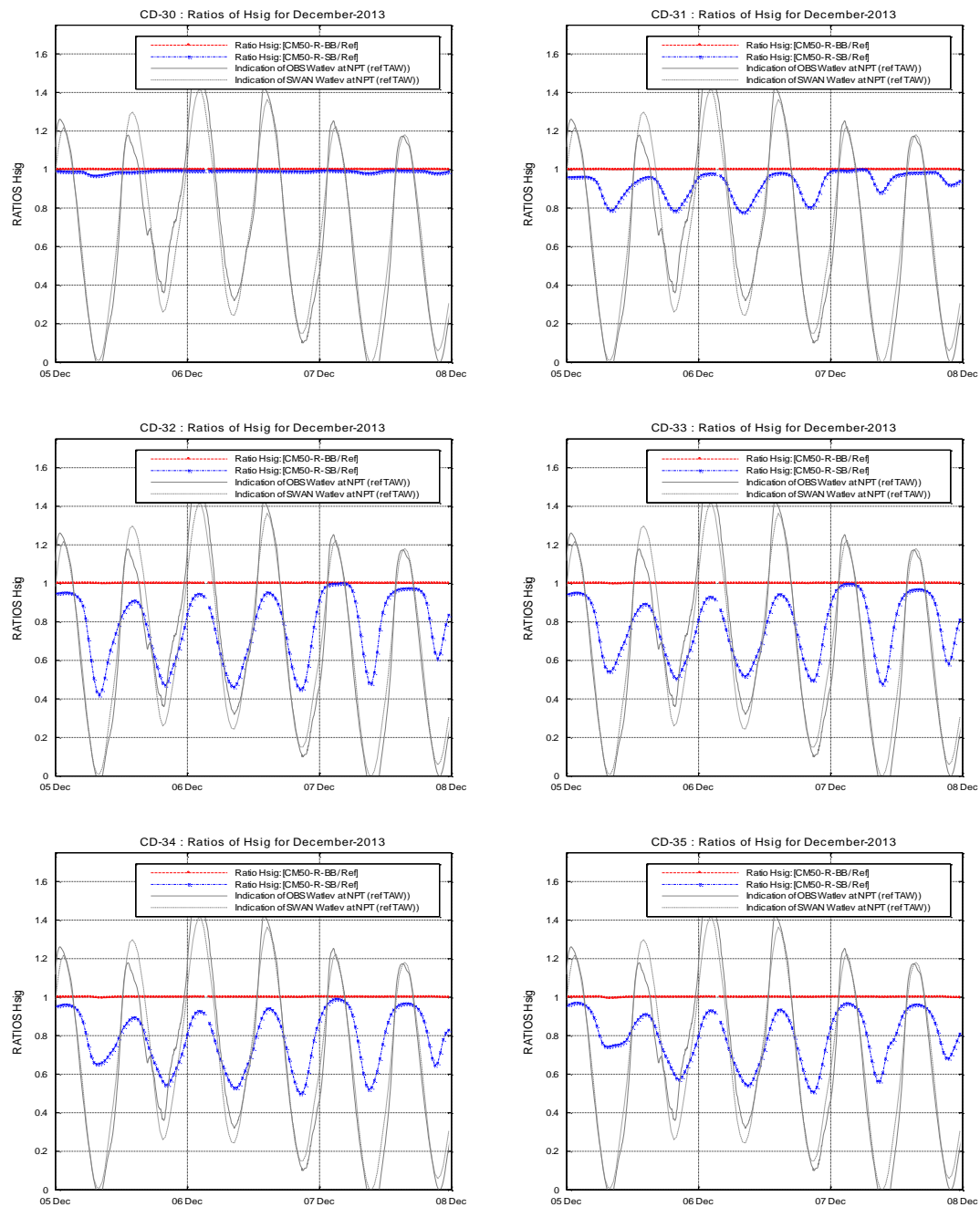
Figuur 3.3. Ratio energieflex ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB/ Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties AB37 tot AB41.



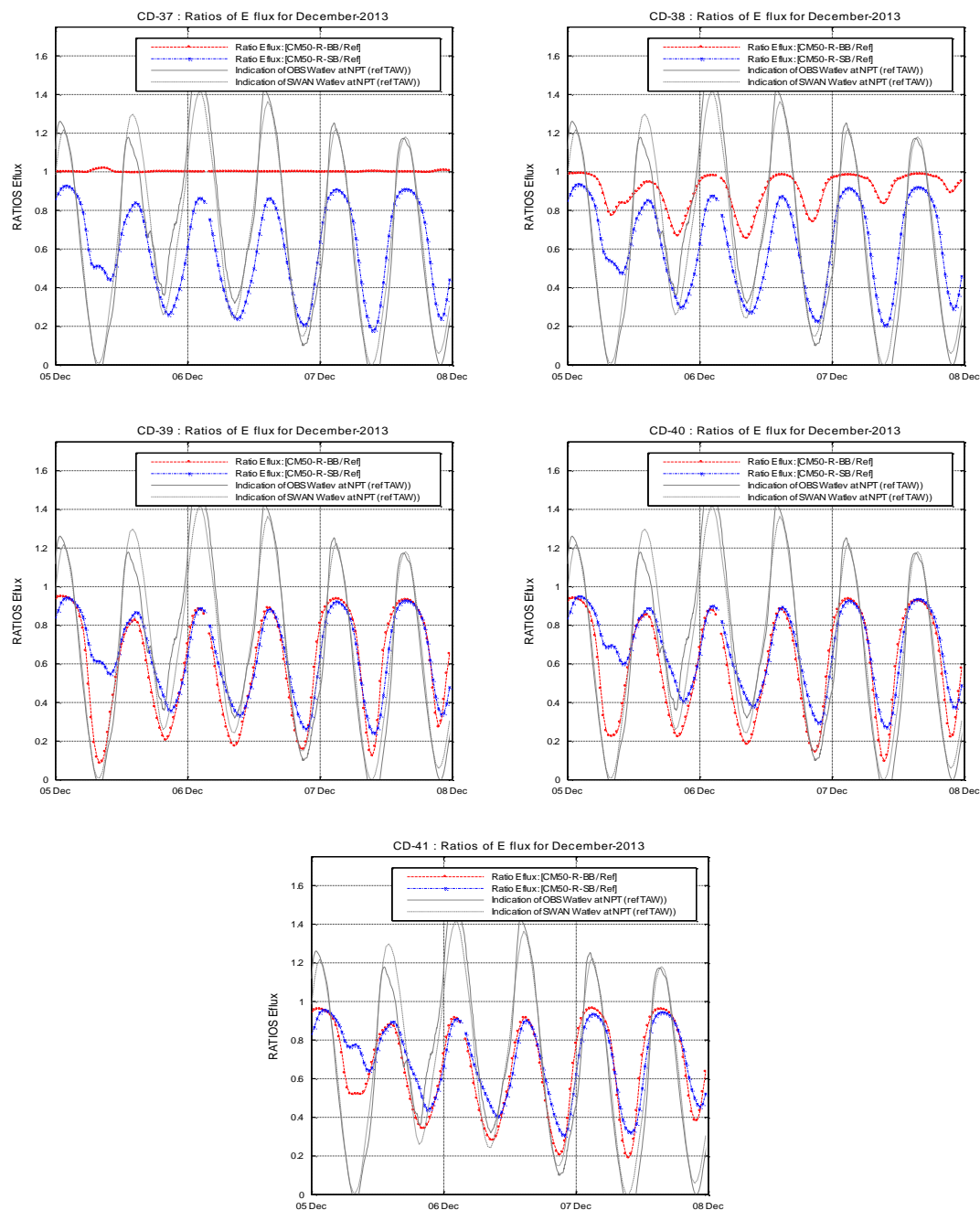
Figuur 3.4. Ratio golfhoogte ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB/ Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties AB37 tot AB41.



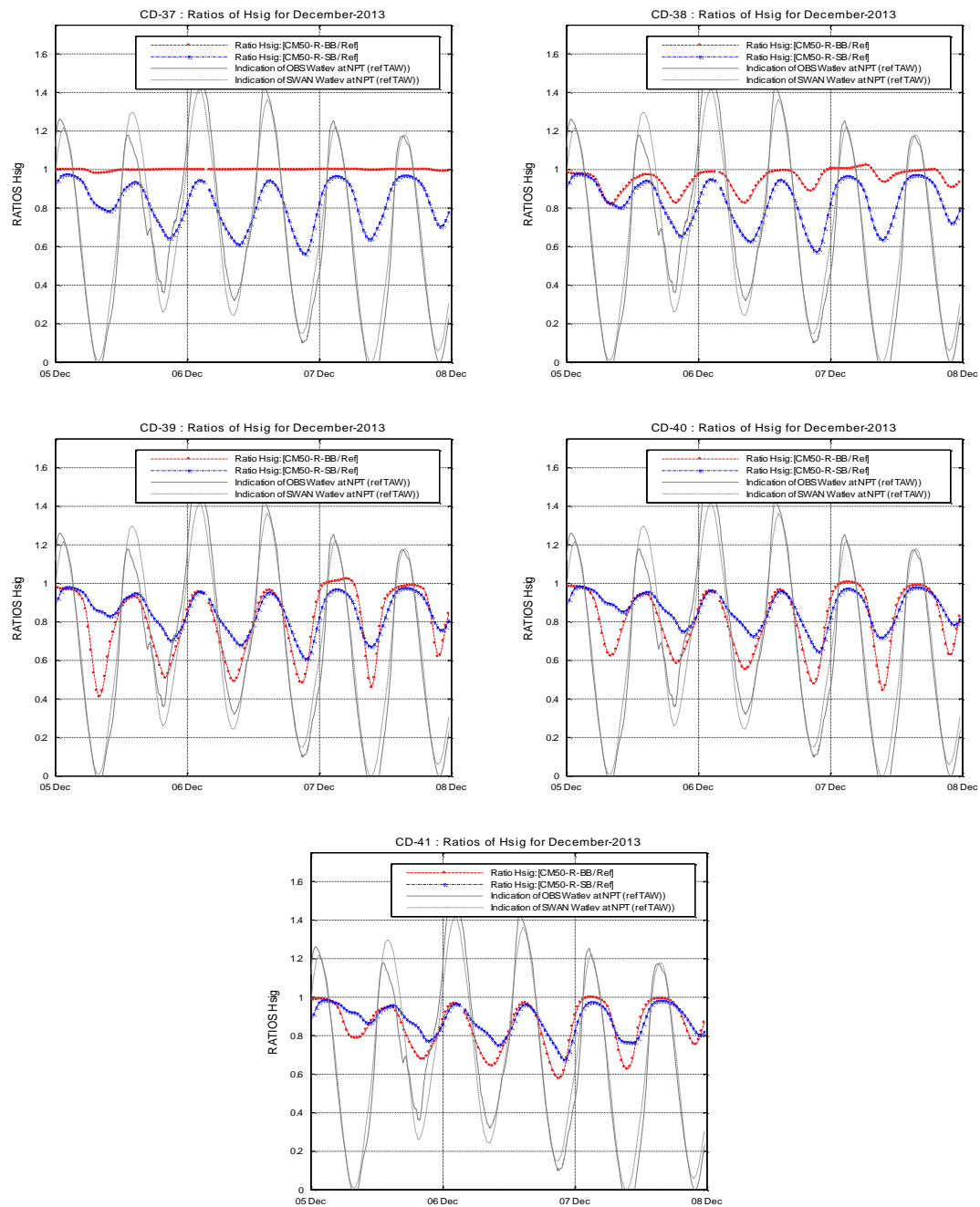
Figuur 3.5. Ratio energieflux ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB / Referentiescenario CM50]) op de Smalbank locaties CD30 tot CD35.



Figuur 3.6. Ratio golfooogte H_{m0} ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB/ Referentiescenario CM50]) op de Smalbank locaties CD30 tot CD35.



Figuur 3.7. Ratio energieflux ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB / Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties CD37 tot CD41.



Figuur 3.8. Ratio golfhoogte H_{m0} ([Scenario verhoging Broersbank CM50-R_BB / Referentiescenario CM50] en [Scenario verhoging Smalbank CM50-R_SB / Referentiescenario CM50]) op de Broersbank locaties CD37 tot CD41.

Reference to this report:

Ortega Yamamoto, H., J. Monbaliu, 2016. *Monitoring Broersbank – Dissipatieprocessen bij verschillende ophogingsscenarios van zandbanken*. Broersbank_214339_N01 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 30-08-2016.